

건축설비시설의 갱신을 위한 최적 대체안 선정모델 개발에 관한 연구

윤 동 원[†], 이 정 재^{*}, 정 광 섭^{**}, 한 화 택^{***}, 정 순 성^{****}

[†]경원대학교 건축설비학과, ^{*}동아대학교 건축공학과, ^{**}서울산업대학교 건축공학과, ^{***}국민대학교 기계공학과, ^{****}동명정보대학교 건축공학과

A Study on the Development of Optimal Alternative Selection Model to Renew Building Equipments System

Dong-Won Yoon[†], Jung-Jae Yee, Kwang-Seop Chung^{*}, Hwa-Taik Han^{**}, Soon-Sung Jung[†]

[†]Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, Sungnam 461-701, Korea

^{*}Department of Architecture Engineering, Dong-A University, Pusan 604-714, Korea

^{**}Department of Architecture Engineering, Seoul National University of Tech, Seoul 139-743, Korea

^{***}Department of Architecture Engineering, Kukmin University, Seoul, 136-702, Korea

^{****}Department of Architecture Engineering, Dongmyung University of Information Technology, Pusan 608-711, Korea

(Received August 29, 2000; revision received September 16, 2000)

ABSTRACT: The objective of this study is to develop optimal alternative selection model for renewing building equipments system. Cost Breakdown Structure of LCC in HVAC systems are deduced from resonable data and factors. As for Cost Breakdown Structure of LCC in HVAC system, pertinent level, title, CBS number, and block number are determined efficiently. Especially, in addition to current cost factor, it is possible to make Cost Breakdown Structure using present worth method more clear. A model of POWER LCC ver 1.0 used to analyze primary cooling system, heating system, and air conditioning system are POWER LCC ver 1.0-SYSTEM = $C1 + C2 - C3 + C4 + C5 + C6 + C7 \pm C8 + C9 - C10_{-1} + C10_{-2} + C10_{-3}$, and is implemented with consideration of Cost Breakdown Structure and their summation using present-worth method. It is programmed with one of scientific languages, MATLAB 5.3.

Key words: Cost breakdown structure(비용분류체계), Present-worth method(현가법), Life cycle cost evaluation model(라이프 사이클 코스트 평가 모델)

———— 기 호 설 명 ————		C1 ₋₁	: 기획비 [원]
AMC	: 연간 1인당 인건비 [원]	C1 ₋₂	: 실시설계비 [원]
C1	: 기획·설계비 [원]	C2	: 초기투자비 [원]
————		C2 ₋₁	: 기기의 제품총가격 [원]
† Corresponding author		C2 ₋₁₁	: 기기별 제품가격 [원]
Tel.: +82-31-750-5460; fax: +82-31-750-5314		C2 ₁₂	: 기기별 수송비 [원]
E-mail address: dwyoon@mail.kyungwon.ac.kr		C2 ₋₁₃	: 기기별 설치비 [원]

$C2_{14}$: 기기별 시운전 조정비 [원]	$C10$: 기타비용 [원]
$C2_{-2}$: 배관·덕트공사비 [원]	$C10_{-1}$: 잔존가치 [원]
$C2_{-3}$: 수변전설비비 [원]	$C10_{-2}$: 사용 스페이스 비용 [원]
$C3$: 각종 지원금 [원]	$C10_{-3}$: 초기투자비 증가분 이자 [원]
$C3_{-1}$: 한전 지원금 [원]	$C1_{-FB}$: 기본설계 요율 [%]
$C3_{-2}$: 소득세 공제 [원]	$C1_{-FE}$: 실시설계 요율 [%]
$C3_{-3}$: 금융지원 [원]	$CPFLEOH$: 냉각수펌프 전부하상당운전시간 [hr]
$C4$: 에너지비 [원]	$C5SW$: 연간가습량 [ℓ /년]
$C4_{-1}$: 일반전력비 [원]	CTC	: 냉각탑 용량 [RT]
$C4_{-1'}$: 심야전력비 [원]	e	: 에스컬레이션 [%]
$C4_{-2}$: 연료비 [원]	$EBCU$: 일반전력 기본요금 단가 [원]
$C5$: 상·하수도비 [원]	$EBCU'$: 심야전력 기본요금 단가 [원]
$C5_{-1}$: 상수도비 [원]	EBF	: 일반전력 기본요금 [원]
$C5_{-2}$: 하수도 요금 [원]	EBF'	: 심야전력 기본요금 [원]
$C5_{-3}$: 수처리비 [원]	EET	: 연간 에너지 소비량 합계 [KW]
$C6$: 보전비 [원]	$EUCU$: 일반전력 사용요금 단가 [원]
$C6_{-1}$: 수선·부품교환비 [원]	$EUCU'$: 심야전력 사용요금 단가 [원]
$C6_{-2}$: 청소·점검정비비 [원]	EUF	: 일반전력 사용요금 [원]
$C7$: 일반관리비 [원]	EUF'	: 심야전력 사용요금 [원]
$C7_{-1}$: 운전인건비 [원]	$EWCU$: 하수도 요금 단가 [원]
$C7_{-2}$: 조세공과금 [원]	$FIBF$: 화재보험 기본요율 [%]
$C7_{-21}$: 취득세 [원]	FUA	: 연료사용량 [경유: ℓ , 도시가스: m^3/hr]
$C7_{-22}$: 등록세 [원]	FUC	: 연료단가 [원/ ℓ , 원/ m^3]
$C7_{-23}$: 재산세 [원]	$HVAC-A$: 공조면적 [m^2]
$C7_{-24}$: 도시계획세 [원]	i	: 이자율 [%]
$C7_{-25}$: 공동시설세 [원]	$ICIM$: 초기투자비 증가분 금액 [원]
$C7_{-26}$: 교육세 [원]	MC	: 장비가격 [원]
$C7_{-3}$: 제보험료 [원]	$MIBF$: 기계보험 기본요율 [%]
$C7_{-31}$: 화재보험료 [원]	MN	: 사람수 [인]
$C7_{-32}$: 기계보험료 [원]	PW	: 현재가계수, $\frac{1}{(1+i)^n}$
$C8$: 폐각비 [원]	PWA	: 연금현재가계수, $\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$
$C8_{-1}$: 철거비 [원]	PWA'	: 에스컬레이션이 있는 경우 연금현재가계수, $\frac{\left[\frac{1+e}{1+i}\right]\left[\left(\frac{1+e}{1+i}\right)^n-1\right]}{\left(\frac{1+e}{1+i}\right)-1}$
$C8_{-2}$: 매각비 [원]		
$C9$: 갱신비 [원]		
$C9_{-1}$: 갱신공사비 [원]		
$C9_{-2}$: 갱신공사 인건비 [원]	RA	: 임대면적 [m^2]

- RC : 임대료 [원]
- RE : 감소전력 [KW]
- RR : 감가상각율 [%]
- SWA : 보급수량 [m³/원]
- SWCU : 상수도 요금 단가 [원]
- SWCP : 보급수 1m³당 수처리비 [원]
- TF : 과세평가율 [%]
- TR : 세율 [%]
- TL : 총수명 [년]
- UC : 지원단가 [원]
- UL : 사용수명 [년]

상첨자

n : 년수

1. 서 론

최근 국내 건축 분야에서 과거에 설치된 건축물의 사회·경제적 또는 시대적 기능저하와 내용연수가 경과함에 따라 갱신의 요구와 사례가 크게 증가하고 있다. 특히 건축물의 설비 시스템에서 설비의 내용연수는 15~20년 정도이며, 보수관리의 상태에 따라 어느 정도 수명연장이 가능

Table 1 Survey on C.B.S. of LCC

C.B.S. of LCC (frequency / percentage)		The sub-category of C.B.S. (frequency / percentage)
1. Plan · Design cost (23/63.9%)		① Plan cost (12/33.3%) ② Design cost (22/61.1%)
2. Initial investment cost (36/100%)		① Price of machine (36/100%) ② Cost for setting equipment (20/55.6%) ③ Cost for pre-operation (10/27.8%) ④ transportation cost (7/19.4%) ⑤ Substation cost (8/22.2%) ⑥ Construction cost of pipe · duct (24/66.7%)
3. Support cost (16/44.4%)		① Responsibility cost (14/38.9%) ② tax benefit (2/5.6%) ③ Low rate financing for equipment (5/13.9%) ④ Compensation or damages (1/2.8%)
4. Energy cost (34/94.4%)		① Energy cost<electricity, gas, oil> (34/94.4%)
5. Water service and Drainage cost (20/55.6%)		① Water service cost (20/55.6%) ② Drainage cost (17/47.2%) ③ Water clean cost (2/5.6%)
6. Maintenance cost (32/88.9%)		① Cost for repairing and changing accessories (30/83.3%) ② Cleaning · Checking cost (29/80.6%)
7. General management cost	Tax (9/25%)	① Property tax (7/19.4%) ② City plan tax (1/2.8%) ③ Estate acquisition tax at first year (2/5.6%) ④ Registration tax at first year (2/5.6%) ⑤ Public facility tax (4/11.1%) ⑥ Education tax (0/0%)
	Insurance cost (7/19.4%)	① Machine insurance bill (1/2.8%) ② Fire insurance bill (7/19.4%)
	Labor cost (23/63.9%)	① Labor cost for operation (23/63.9%)
8. Salvage cost (15/41.7%)		① Removal cost (14/38.9%) ② Cost on sell (1/2.8%)
9. Renewal cost (19/52.8%)		① Construction cost for renewal (19/52.8%) ② Labor cost for renewal construction (18/50%)
10. Other cost (22/61.1%)		① Value to remain (17/47.2%) ② Increased interest for initial investment (2/5.6%) ③ Cost of space used (10/27.8%)

하지만 시스템의 사용기간이 길어짐에 따른 물리적 기능저하는 피할 수 없게 되고, 경제활동의 국제화, 생활수준의 향상에 따른 근무환경의 고급화, 산업환경 발전에 의한 사무자동화와 인텔리전트화, 법규의 개정, 기술의 진보에 따라 새로

운 기능이 도입되어져 이러한 개념에서 설비의 갱신이 요구되고 있는 실정이다. 일반적으로 건축설비 분야에서의 갱신은 건축물에 비해 그 수명이 짧아서 건축물의 수명 중에 2~4회 정도 갱신할 필요가 있으므로, 설비 갱신 공사의 수요는

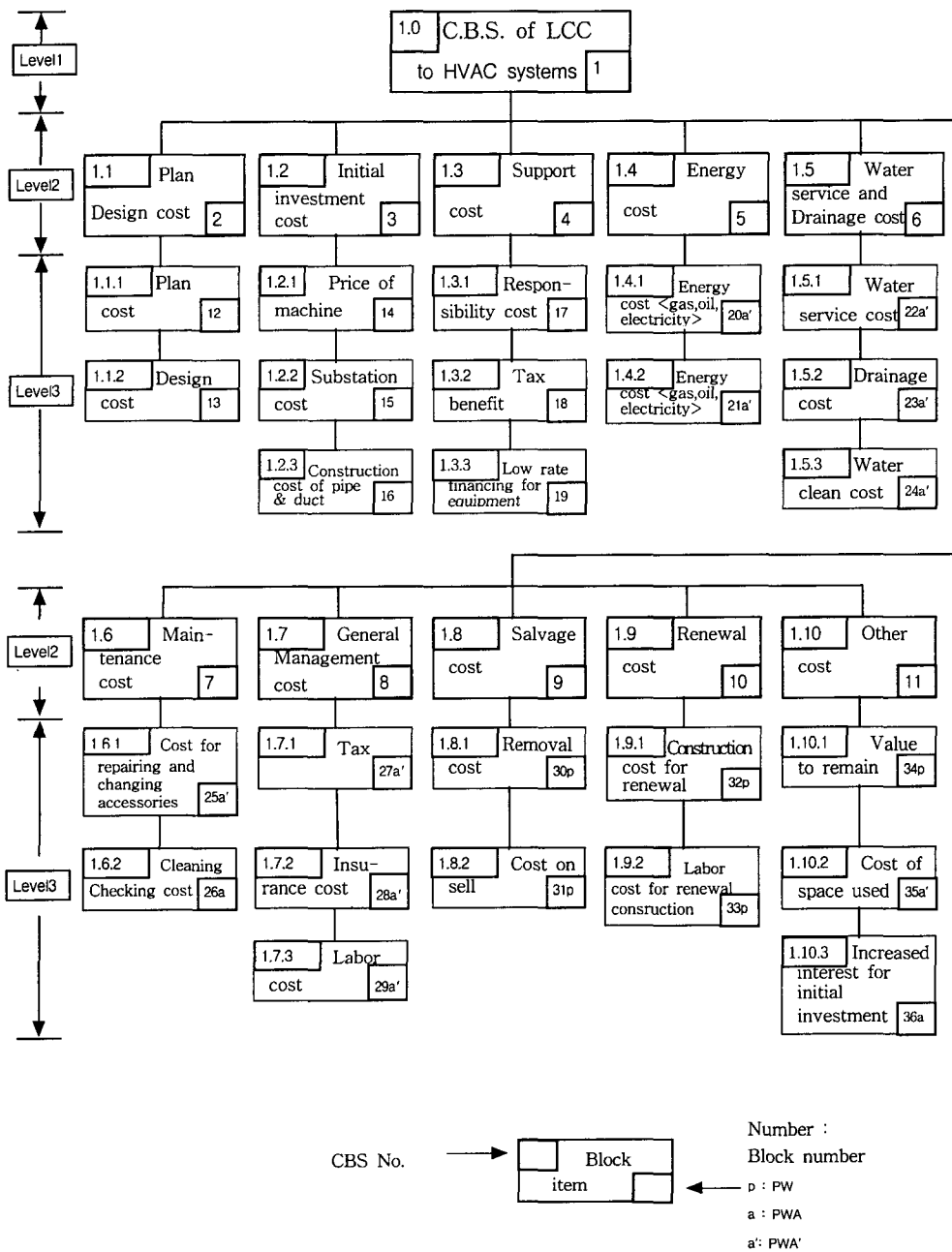


Fig. 1 C.B.S. of LCC in HVAC systems.

앞으로 더욱 증대될 것으로 예상된다.⁽¹⁾

건축설비 시스템의 갱신을 위해서는 최적 대체안의 선정이 필요하며, 대체안의 선정이 잘못되며, 내용연수 동안에 많은 경제적 손실을 초래할 수 있다.

본 연구는 건축설비 시스템의 갱신을 위한 최적 대체안 선정 모델 개발에 관한 연구로서, 최적 대체안의 선정 모델 개발 방향으로 국내 실정에 적합한 HVAC 시스템의 비용분류체계 및 변수 구축, LCC 평가모델 개발을 통해 LCC 평가 프로그램을 작성하고 냉열원 시스템을 대상으로 사례연구를 실시하였다.

2. HVAC 시스템의 비용분류체계 구축

2.1 비용분류체계에 관한 사회적 의식조사

HVAC 시스템의 LCC 평가모델 비용분류체계(Cost Breakdown Structure, CBS)구축⁽²⁾을 위해 LCC에 대한 사회적 의식을 설문지를 통해 조사하였으며, 조사결과를 Table 1에 정리하여 나타낸다.

2.2 비용분류체계 구축 및 표현방법 특성

HVAC 시스템의 기획 및 기본계획 단계에서 LCC 분석을 위하여 설문지 조사, 국내·국외 문헌조사, 현장조사를 바탕으로 국내 실정에 적합한 HVAC 시스템의 비용분류체계로서 3단계의 수준을 가지고 있는 Fig. 1과 같은 비용분류체계를 구축하였다. Fig. 1에서 HVAC 시스템별 LCC는 수준 1의 블록이고, 기획·설계비에서 기타비용에 이르기까지 10개가 각각 2단계 수준이다. 수준 3은 수준 2를 세분화한 것이다. Fig. 1의 비용분류체계에서 기존의 LCC 분석 방법론^(3,4)의 비용분류체계와 다른 항목은 Blanchard와 Fabrycky의 방법론⁽⁵⁾에서는 세금과 보험료를 고려하지 않았으나, 본 비용분류체계에서는 고려하였다. 또 기존의 LCC 분석 방법론에서는 전혀 언급이 없는 각종 지원금을 비용분류체계에 포함시켰다. 그 이유는 각종 지원금 제도는 국내의 경우 정부의 에너지 정책에 의해서 발생하는 것으로 외국에는 없는 국내 고유의 제도이기 때문이다.

본 연구에서 제안하는 HVAC 시스템의 비용분

류체계의 구축 표현 방법은 각 비용분류체계 블록에 대한 적절한 수준, 제목, CBS 번호, 그리고 블록 번호를 결정하고, 특히 비용분류체계에 각종 현가 계수를 첨가하는 방법을 사용하고 있다. 그 이유는 현가법에 의한 LCC 산출시 각종 현가 계수에 의해 비용분류체계를 더욱더 명확히 할 수 있기 때문이다.

3. LCC 평가모델 개발 및 전산화

3.1 LCC 평가모델

비용분류체계를 정의한 후에 수명주기의 경제성 분석 절차를 가능하게 해주는 LCC 평가모델⁽⁶⁾을 개발하는 것이 필요하며, HVAC 시스템의 현가법에 의한 LCC 분석시 국내 실정에 적합한 LCC 평가모델은 Fig. 2와 같이 제안된다.

HVAC 시스템별(냉열원, 온열원 및 공조시스템) 비용분류체계에 의한 LCC 평가모델은 다음과 같다.

$$LCC = C1 + C2 - C3 + C4 + C5 \\ + C6 + C7 + C8_{-1} - C8_{-2} \\ + C9 - C10_{-1} + C10_{-2} + C10_{-3}$$

냉열원시스템과 온열원시스템 및 공조시스템을 합산한 HVAC 시스템의 LCC 종합 모델은 다음과 같다.

$$LCC_{-HVAC} = LCC_{-냉열원} + LCC_{-온열원} + LCC_{-공조}$$

3.2 LCC 평가를 위한 전산 프로그램 전제조건

LCC 평가를 위한 전산 프로그램 개발을 위해서는 먼저 HVAC 시스템의 LCC 평가 모델 개발이 필요하다. HVAC 시스템의 LCC 평가 모델 개발을 위한 기본 전제조건은 다음과 같다.

(1) 모든 라이프 사이클 코스트 비용이 비용분류체계에 반영되어야 한다. 이는 모든 비용항목이 분석을 위해 전부 필요하다는 것을 의미하지는 않는다. 대상 시스템과 관련된 비용항목은 모두 고려되어야 한다는 것을 의미한다.

(2) 비용분류체계에 포함되어야 할 비용항목을 명확히 하여 비용의 생략과 중복의 문제가 발생

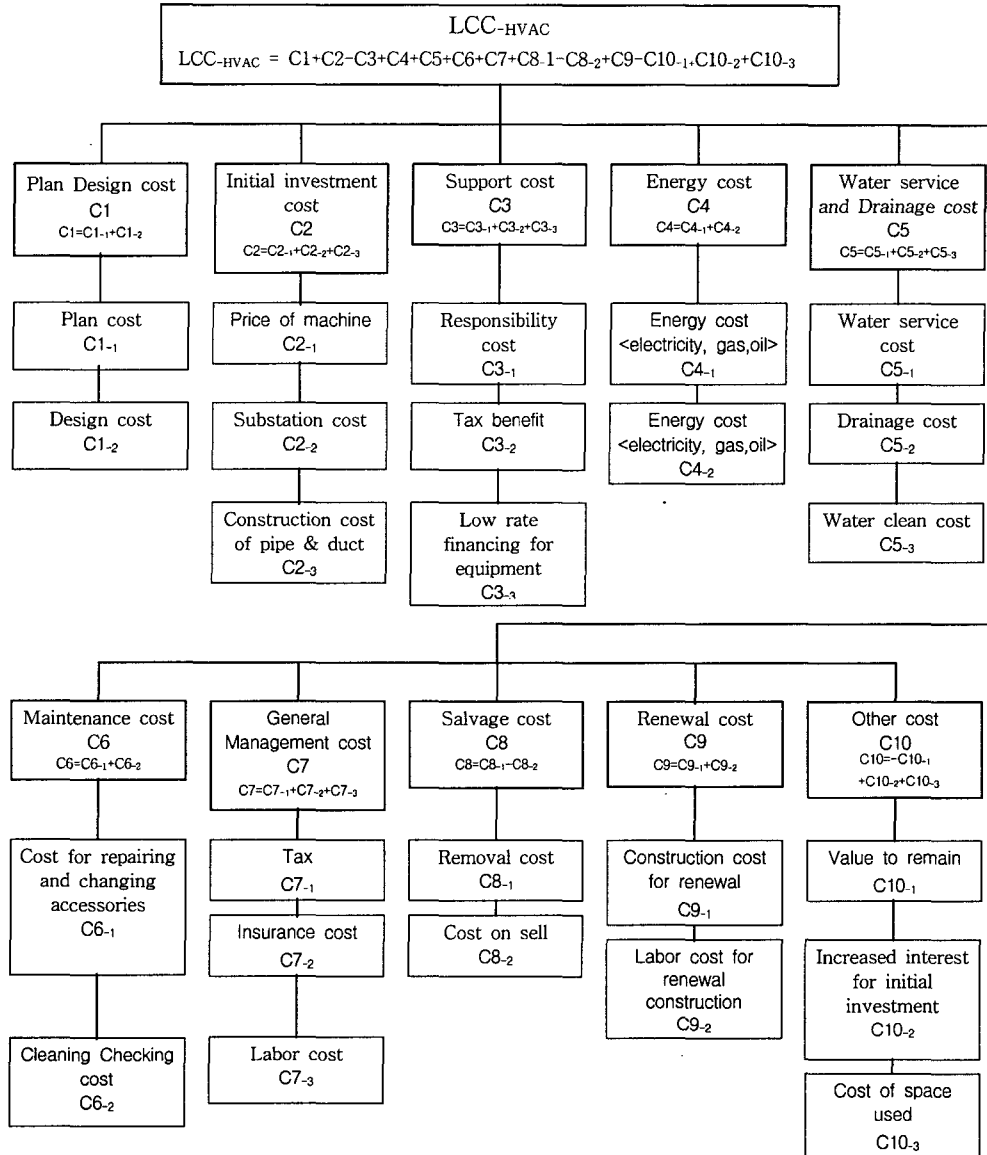


Fig. 2 Model of LCC evaluation.

되지 않도록 주의하여야 한다.

(3) 비용항목은 설비의 설계, 건설, 운영 및 유지 등 다양한 측면의 평가를 위해 충분한 정도의 깊이를 가지도록 분류되어, 의사결정자가 주요 비용영역과 비용항목 사이의 상관관계를 용이하게 식별할 수 있도록 해야 한다.

(4) 비용분류체계는 특정 관심영역의 비용분석이 용이하게 이루어질 수 있도록 정의되어야 한다.

3.3 LCC 평가모델 전산화

3.3.1 기획·설계비

HVAC 시스템의 기획·설계비는 엔지니어링 사업대가의 기준에 의하여 공사비 비율에 의한 방식을 적용하였다. 본 연구에서 건축설비사무소의 특성을 고려하여 기획비는 기본설계비, 설계비는 실시설계비로 선정하여 분류하였으며, 이것

을 식으로 표시하면 식(1), (2), (3)과 같다.

$$C1_{-1} = C2 \times C1_{-FB} \quad (1)$$

$$C1_{-2} = C2 \times C1_{-FE} \quad (2)$$

$$C1 = C1_{-1} + C1_{-2} \quad (3)$$

3.3.2 초기투자비

초기투자비를 구성하는 비용항목은 기기의 제품가격, 수송비, 설치비, 시운전조정비, 배관·덕트 공사비, 수변전 설비비 등으로 분류하였다. 이것을 식으로 표시하면 기기의 제품 총가격은 기기별 제품가격, 수송비, 설치비, 시운전조정비를 합하여 식(4), 배관·덕트 공사비는 식(5), 수변전 설비비는 식(6)과 같다. 식(6)에서 수변전 설비비는 수변전 기기, 변압기, 반입 및 설치 조정비를 모두 포함하며, 본 연구에서는 대략적으로 KVA 당 200,000원 정도로 설정하였다. 이들 식의 합은 식(7)과 같다.

$$C2_{-1} = C2_{-11} + C2_{-12} + C2_{-13} + C2_{-14} \quad (4)$$

$$C2_{-2} = C2_{-1} \times 0.2 \quad (5)$$

$$C2_{-3} = KVA \times 200,000 \quad (6)$$

$$C2 = C2_{-1} + C2_{-2} + C2_{-3} \quad (7)$$

3.3.3 각종 지원금

각종 지원금 제도는 외국에는 없는 국내 고유의 제도로 한국전력공사와 정부는 부하평준화를 위해 각종 지원금 제도를 마련하고 있으며, 한전 지원금은 식(8), 소득세 공제는 식(9), 금융지원은 식(10)과 같고, 이들 각종 지원금의 총합은 식(11)과 같다. 본 연구의 각종 지원금에서 설계장려금은 빙축열을 설계에 반영한 설비설계 사무소에 지급하므로 각종 지원금에서 제외하였고, 정부의 지원금 중에서 소득세 공제와 특별상각 및 손금산입 중에서 한 가지를 택일하게 되어 있으므로 소득세 공제를 선택하였다.

$$C3_{-1} = RE \times UC \quad (8)$$

$$C3_{-2} = (C2_{-1} + C2_{-2}) \times 0.05 \quad (9)$$

$$C3_{-3} = (C2_{-1} + C2_{-2}) \times 0.9 \times 0.05 \times 3.605 \quad (10)$$

$$C3 = C3_{-1} + C3_{-2} + C3_{-3} \quad (11)$$

3.3.4 에너지비

에너지비는 전력비와 연료비로 분류된다. 전력 요금은 일반전력 요금과 심야전력 요금으로 분류되고, 각각 기본요금과 사용요금으로 나누어진다. 일반전력 요금은 식(12), 일반전력 기본요금은 식(13), 일반전력 사용요금은 식(14)와 같다. 심야전력 요금은 식(15), 심야전력 기본요금은 식(16), 심야전력 사용요금은 식(17)과 같다. 연료비는 식(18)과 같다. 에너지비 총합은 전력비와 연료비의 합으로 식(19)와 같다.

$$C4_{-1} = EBF + EUF \quad (12)$$

$$EBF = EET \times EBCU \times 12 \times PWA' \quad (13)$$

$$EUF = EET \times EUCU \times PWA' \quad (14)$$

$$C4_{-1'} = EBF' + EUF' \quad (15)$$

$$EBF' = (EET \times EBCU' \times 0.254 \times 4 + EET \times 464 \times 8) \times PWA' \quad (16)$$

$$EUF' = EET \times EUCU' \times PWA' \quad (17)$$

$$C4_{-2} = FUA \times FUC \times PWA' \quad (18)$$

$$C4 = C4_{-1} + C4_{-1'} + C4_{-2} \quad (19)$$

3.3.5 상·하수도비

상·하수도비는 상수도비, 하수도비, 수처리비로 분류된다. 상수도비는 식(20), 하수도비는 식(21), 수처리비는 식(22)와 같다. 상·하수도비는 상수도비, 하수도비, 수처리비의 총합으로 식(23)과 같다. 일반적으로 급수량의 주된 비중을 차지하는 것은 냉각탑 보급수와 겨울의 가습용수이므로 다른 보급수는 통상의 경우 적으므로 본 연구에서는 제외하였다.

$$C5_{-1} = (0.026 \times CTC \times CPFLEOH \times SWCU + C5SW \times HVAC - A) \times PWA' \quad (20)$$

$$C5_{-2} = (0.026 \times CTC \times CPFLEOH \times EWCU + C5SW \times HVAC - A) \times PWA' \quad (21)$$

$$C5_{-3} = SWA \times SWCP \times PWA' \quad (22)$$

$$C5 = C5_{-1} + C5_{-2} + C5_{-3} \quad (23)$$

3.3.6 보전비

보전비는 수선·부품교환비, 청소·점검정비비

등이 있으나, 국내의 경우 이러한 자료에 대하여 아직 정리되어 발표된 것은 없으며, 그 특성상 각 건물에 따라 보전의 정도나 관리능력이 다르고 아울러 상당한 차이가 있을 것으로 예상된다. 본 연구에서는 보전비를 설비공사비의 2% 정도로 가정하였으며, 보전비는 식(24)와 같다.

$$C6 = C6_{-1} + C6_{-2} = \{(C2_{-1} + C2_{-3}) \times 0.02\} \times PWA' \quad (24)$$

3.3.7 일반관리비

일반관리비는 운전인건비, 조세공과금, 제보험료 등 3가지로 나누어진다. 일반관리비 중에서 운전인건비는 다음 식(25)와 같다. 조세공과금은 취득세, 등록세, 재산세, 도시계획세, 공동시설세, 교육세 등으로 나누어지고, 취득세는 식(26), 등록세는 식(27), 재산세는 식(28), 도시계획세는 식(29), 공동시설세는 식(30), 교육세는 식(31)과 같다. 따라서 조세 공과금의 총합은 식(32)와 같다.

제보험료 중에서 화재보험료는 식(33)과 같고, 기계보험료는 식(34)와 같으며, 화재보험료와 기계보험료의 합은 식(35)와 같다. 일반관리비의 총합은 운전인건비, 조세공과금, 제보험료의 합으로 식(36)과 같다.

$$C7_{-1} = AMC \times MN \times PWA' \quad (25)$$

$$C7_{-21} = (C2_{-1} + C2_{-3}) \times TF \times TR \quad (26)$$

$$C7_{-22} = (C2_{-1} + C2_{-3}) \times TF \times TR \quad (27)$$

$$C7_{-23} = \{(C2_{-1} + C2_{-3}) \times TF \times TR \times RR\} \times PWA \quad (28)$$

$$C7_{-24} = \{(C2_{-1} + C2_{-3}) \times TF \times TR \times RR\} \times PWA \quad (29)$$

$$C7_{-25} = \{(C2_{-1} + C2_{-3}) \times TF \times TR \times RR\} \times PWA \quad (30)$$

$$C7_{-26} = C7_{-23} \times 0.2 \quad (31)$$

$$C7_{-2} = C7_{-21} + C7_{-22} + C7_{-23} + C7_{-24} + C7_{-25} + C7_{-26} \quad (32)$$

$$C7_{-31} = (C2_{-1} + C2_{-3}) \times FIBF \quad (33)$$

$$C7_{-32} = (C2_{-1} + C2_{-3}) \times MIBF \quad (34)$$

$$C7_{-3} = C7_{-31} + C7_{-32} \quad (35)$$

$$C7 = C7_{-1} + C7_{-2} + C7_{-3} \quad (36)$$

3.3.8 폐각비

폐각비는 철거비와 매각비로 분류되고, 철거비는 식(37), 매각비는 식(38)이고, 합은 식(39)와 같다. HVAC 시스템의 LCC 분석에서 철거비(-)와 매각비(+)가 서로 상쇄하는 것으로 보고 별도로 계산하지 않는 것이 일반적이다. 그러나 배관공사비 및 덕트공사비와 같이 철거비가 매각비보다 많은 경우는 반드시 LCC 분석에서 고려되어야 한다.

$$C8_{-1} = C8_{-1} \times PW \quad (37)$$

$$C8_{-2} = C8_{-2} \times PW \quad (38)$$

$$C8 = C8_{-1} + (-C8_{-2}) \quad (39)$$

3.3.9 갱신비

갱신비는 설비시스템을 갱신할 경우 갱신에 필요한 비용으로 갱신공사비와 갱신공사 인건비로 분류된다. 갱신공사비는 식(40), 갱신공사 인건비는 식(41)과 같다. 따라서 갱신비는 식(42)와 같다.

$$C9_{-1} = C9_{-1} \times PW \quad (40)$$

$$C9_{-2} = C9_{-2} \times PW \quad (41)$$

$$C9 = C9_{-1} + C9_{-2} \quad (42)$$

3.3.10 기타 비용

기타비용으로는 잔존가치는 식(43), 사용 스페이스 비용은 식(44), 초기투자비 증가분 이자는 식(45)와 같다.

$$C10_{-1} = MC - (TL / UL) \times PW \quad (43)$$

$$C10_{-2} = (RC \times RA) \times PWA' \quad (44)$$

$$C10_{-3} = (ICIM \times i) \times PWA \quad (45)$$

3.4 LCC 평가 프로그램 개요

LCC 평가 프로그램(프로그램 명칭 : POWER LCC ver 1.0)은 LCC 평가 모델을 효율적으로 활용하기 위해서 설정된 비용분류체계와 비용항목의 변수에 관한 기준에 따라 HVAC 시스템의 비용분류체계별 LCC 산출 및 이를 합하여 총비용을 산출하는 과정을 전산화하였다.

POWER LCC ver 1.0 개발을 위해 수행된 사전 검토의 개괄적 내용으로 대상건물의 유형은 건물 규모 및 용도에 따라 부하가 크게 나타나는 사무소, 백화점, 호텔, 병원으로 선정하였으며, 시스템의 선정은 냉열원시스템, 온열원시스템, 공조시스템으로 대분류한 다음 각각의 비용분류체계와 비용항목 변수로 소분류하였다.

LCC의 환산방법으로는 POWER LCC ver 1.0에서는 현가법을 사용하였다. 왜냐하면, 일반적으로 LCC 계산에서 현가법을 많이 사용하기 때문이다. 또 LCC 계산에 관한 기본 자료가 어느 정도 갖추어져 있다.

POWER LCC ver 1.0의 운영체제(Operating System)는 Windows 95로 프로그래밍 언어는 Matlab 5.2를 사용하였다. 본 소프트웨어를 작동시키기 위해서는 램 32메가, 펜티엄 200 Mhz 이상의 자원이 필요하다.

4. 사례연구

4.1 대안 시스템의 선정과 기초자료

본 연구에서 검토한 대체안은 HVAC 시스템 중에서 냉열원 시스템으로 냉동기 용량 360 USRT 인 냉열원 시스템으로 선정하였다.

냉열원 시스템의 대안으로는 현재 일반 사무소에서 사용되는 시스템으로 일반전력을 에너지원으로 사용하는 터보 냉동기 방식과 1980년대 후반부터 하계 전력난 해소 대책의 일환으로 계절간의 에너지 수급 조절을 위한 도시가스를 에너지원으로 사용하는 냉온수 유니트 방식의 2가지

Table 3 Equipment of alternate system

alternative equipment	system A*	system B**
1. Refrigeration machine	○	○
2. Cooling tower	○	○
3. Chilled water pump	○	○
4. Cooling water pump	○	○
5. etc.	substation	substation, gas-meter, static pressure controller

* Turbo-refrigeration machine.

** Direct-fired two-stage absorption chiller-heater.

대안을 선정하였다. 냉열원 시스템은 주기기인 냉동기와 냉각탑, 냉각수 펌프, 냉수 펌프, 기타 등의 보조기기가 부대설비로 설치된다. 사례연구의 대안 시스템의 장비구성은 Table 3과 같다.

4.2 대안 시스템의 LCC 분석

냉열원 시스템의 비용분류체계는 초기투자비, 기획비, 설계비, 소득세공제, 금융지원, 에너지비, 상·하수도비, 보전비, 세금, 보험료, 초기투자비 증가분 이자로 결정하였다.

비용분류체계의 각종 지원금 항목 중에서 한전 지원금은 빙축열 시스템의 지원제도이므로 제외하고, 일반관리비 항목중에서 운전인건비와 사용스페이스 비용 및 잔존가치는 각 대안이 동일하다고 가정하여 제외시켰다. 또 폐각비는 철거비

Table 4 Assumptions to cost item variable of C.B.S.

variable	rate
㉑-Interest rate (Discount rate)	12%
㉒-Maintenance cost rate as to price rate	10%
㉓-Energy cost rate	9%
㉔-Water service and drainage cost rate	9%
㉕-Fire insurance bill rate	3%
㉖-Tax rate	3%

Table 5 LCC₁₅ calculation for different cooling system (unit: 1000 won)

item of cost	alternative	system A	system B
①-Initial investment cost		235,050	253,350
②-Plan cost		3,427	3,638
③-Design cost		10,530	11,164
④-Tax benefit		0	-11,443
⑤-Low rate financing for equipmen		0	-22,275
⑥-Energy cost		395,998	281,890
⑦-Water service and drainage cost		56,147	78,077
⑧-Maintenance cost		42,542	59,619
⑨-Fire insurance bill		682	714
⑩-Tax		9,828	10,276
⑪-Interest of the increased amount of Initial investment cost		27,000	0
LCC ₁₅		781,204	665,010

와 매각비가 서로 상쇄하는 것으로 가정하였다. 보험료는 기계 보험료와 화재 보험료가 있으나 일반적으로 화재 보험을 의미한다. LCC 평가모델은 Fig. 2를 바탕으로 위의 비용분류체계에 따른 LCC 평가모델을 선정하였다. 비용항목 변수 및 변수 기본 전제조건은 Table 4와 같고, 냉열원 시스템의 분석기간은 15년으로 가정하였다.

각 대안에 대하여 비용분류체계와 LCC 평가모델 및 Table 4의 비용항목 변수의 기본 전제조건을 "POWER LCC ver 1.0"에 대입하여 산출한 LCC15의 계산 결과를 정리하여 Table 5에 나타낸다.

Table 6 LCC₁₅ sensitivity analysis for different of energy cost (unit: 1000won)

cost rate	system A		system B	
	⑥	LCC ₁₅	⑥	LCC ₁₅
4%	284,184	669,389	202,296	585,416
5%	303,085	688,291	215,750	598,871
6%	323,566	708,772	230,330	613,450
7%	345,771	730,977	246,136	629,257
8%	369,858	755,063	263,282	646,403
9%	395,998	781,204	281,890	665,011
10%	424,379	809,584	302,093	685,214
11%	455,205	840,410	324,036	707,157
12%	488,698	873,904	347,879	731,000
13%	525,103	910,309	373,794	756,914
14%	564,683	949,889	401,968	785,089

Table 7 LCC₁₅ sensitivity analysis as water service · drainage cost (unit: 1000 won)

cost rate	system A		system B	
	⑦	LCC ₁₅	⑦	LCC ₁₅
4%	40,293	765,350	56,031	642,965
5%	42,973	768,030	59,758	646,692
6%	45,877	770,934	63,796	650,730
7%	49,025	774,082	68,174	655,108
8%	52,440	777,497	72,923	659,857
9%	56,147	781,204	78,077	665,011
10%	60,171	785,228	83,673	670,607
11%	64,541	789,598	89,751	676,685
12%	69,290	794,347	96,355	683,288
13%	74,452	799,509	103,533	690,466
14%	80,064	805,121	111,336	698,270

4.3 감도 분석

냉열원 시스템의 리스크 인자로는 할인율, 에너지비 상승률, 상·하수도비 상승률, 물가 상승률, 세금 및 화재보험 상승률 등이 있다.

Table 4의 비용항목 변수 기본 전제조건은 미

Table 8 LCC₁₅ sensitivity analysis for different price rate of maintenance cost (unit: 1000 won)

cost rate	system A		system B	
	⑧	LCC ₁₅	⑧	LCC ₁₅
5%	30,383	769,044	42,579	647,971
6%	32,436	771,097	45,456	650,848
7%	34,662	773,323	48,576	653,968
8%	37,077	775,738	51,960	657,352
9%	39,697	778,359	55,632	661,024
10%	42,542	781,204	59,619	665,011
11%	45,632	784,294	63,950	669,342
12%	48,990	787,651	68,745	674,137
13%	52,639	791,301	73,769	679,161
14%	56,607	795,269	79,330	684,722
15%	60,922	799,583	85,377	690,769

Table 9 LCC₁₅ sensitivity analysis for different fire insurance bill (unit: 1000 won)

cost rate	system A		system B	
	⑨	LCC ₁₅	⑨	LCC ₁₅
1%	603	781,124	631	664,928
2%	641	781,162	670	664,968
3%	682	781,204	714	665,011
4%	727	781,248	760	665,058
5%	776	781,297	811	665,108

Table 10 LCC₁₅ sensitivity analysis for different tax rate (unit: 1000 won)

cost tax rate	system A		system B	
	⑩	LCC ₁₅	⑩	LCC ₁₅
1%	9,241	780,617	9,663	664,398
2%	9,523	780,899	9,958	664,692
3%	9,828	781,204	10,276	665,011
4%	10,158	781,533	10,621	665,356
5%	10,515	781,890	10,994	665,729

Table 11 LCC₁₅ sensitivity analysis for different discount rate (unit: 1000 won)

item of cost		Discount rate											
		7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	
system A	①	235,050	235,050	235,050	235,050	235,050	235,050	235,050	235,050	235,050	235,050	235,050	235,050
	②	3,427	3,427	3,427	3,427	3,427	3,427	3,427	3,427	3,427	3,427	3,427	3,427
	③	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530	10,530
	⑥	568,554	526,511	488,698	454,621	423,846	395,998	370,747	347,806	326,924	307,879	290,476	290,476
	⑦	80,613	74,651	69,290	64,458	60,095	56,147	52,566	49,314	46,353	43,653	41,185	41,185
	⑧	61,556	56,914	52,744	48,990	45,603	42,542	39,770	37,254	34,966	32,882	30,980	30,980
	⑨	934	874	819	769	724	682	645	610	579	549	523	523
	⑩	11,689	11,241	10,836	10,468	10,133	9,828	9,549	9,294	9,060	8,845	8,648	8,648
	⑪	15,750	18,000	20,250	22,500	24,750	27,000	29,250	31,500	33,750	36,000	38,250	38,250
	LCC ₁₅	988,103	937,198	891,644	850,813	814,158	781,204	751,534	724,785	700,639	678,815	659,069	659,069
	system B	①	253,350	253,350	253,350	253,350	253,350	253,350	253,350	253,350	253,350	253,350	253,350
②		3,638	3,638	3,638	3,638	3,638	3,638	3,638	3,638	3,638	3,638	3,638	3,638
③		11,164	11,164	11,164	11,164	11,164	11,164	11,164	11,164	11,164	11,164	11,164	11,164
④		-11,443	-11,443	-11,443	-11,443	-11,443	-11,443	-11,443	-11,443	-11,443	-11,443	-11,443	-11,443
⑤		-22,275	-22,275	-22,275	-22,275	-22,275	-22,275	-22,275	-22,275	-22,275	-22,275	-22,275	-22,275
⑥		404,724	374,796	347,238	323,621	301,714	281,890	263,915	247,585	232,720	219,163	206,775	206,775
⑦		112,100	103,810	96,473	89,636	83,568	78,077	73,099	68,576	64,458	60,703	57,272	57,272
⑧		86,266	79,760	73,916	68,655	63,909	59,619	55,734	52,208	49,001	46,081	43,416	43,416
⑨		977	914	856	804	757	714	674	638	605	574	546	546
⑩		12,222	11,754	11,330	10,945	10,595	10,276	9,985	9,718	9,473	9,249	9,042	9,042
LCC ₁₅		850,723	805,468	764,247	728,095	694,977	665,010	637,841	613,159	590,691	570,204	551,485	551,485

Table 12 LCC₁₀₋₂₀ sensitivity analysis for different of service life (unit: 1000 won)

life	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	LCC ₁₀₋₂₀
system A												
10	235,050	3,427	10,530	0	0	281,460	39,907	29,618	541	8,785	18,000	627,318
11	235,050	3,427	10,530	0	0	305,628	43,333	32,297	574	9,030	19,800	659,669
12	235,050	3,427	10,530	0	0	329,149	46,668	34,928	605	9,255	21,600	691,212
13	235,050	3,427	10,530	0	0	352,039	49,914	37,512	633	9,462	23,400	721,967
14	235,050	3,427	10,530	0	0	374,317	53,073	40,050	659	9,653	25,200	751,959
15	235,050	3,427	10,530	0	0	395,998	56,147	42,542	682	9,828	27,000	781,204
16	235,050	3,427	10,530	0	0	417,098	59,138	44,990	704	9,989	28,800	809,726
17	235,050	3,427	10,530	0	0	437,633	62,050	47,394	724	10,137	30,600	837,545
18	235,050	3,427	10,530	0	0	457,618	64,883	49,756	743	10,274	32,400	864,681
19	235,050	3,427	10,530	0	0	477,067	67,641	52,075	760	10,399	34,200	891,149
20	235,050	3,427	10,530	0	0	495,996	70,325	54,353	775	10,514	36,000	916,970
system B												
10	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	200,356	55,494	41,507	566	9,185	0	541,542
11	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	217,561	60,259	45,261	601	9,442	0	567,558
12	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	234,304	64,897	48,948	632	9,677	0	592,892
13	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	250,598	69,410	52,569	662	9,894	0	617,567
14	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	266,457	73,803	56,126	689	10,093	0	641,602
15	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	281,890	78,077	59,619	714	10,276	0	665,010
16	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	296,910	82,238	63,050	736	10,445	0	687,813
17	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	311,528	86,286	66,419	757	10,600	0	710,024
18	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	325,754	90,227	69,728	777	10,742	0	731,662
19	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	339,599	94,062	72,978	794	10,873	0	752,740
20	253,350	3,638	11,164	-11,443	-22,275	353,074	97,794	76,170	811	10,994	0	773,277

래에 대한 추정치이므로, 할인율 7~17%, 에너지비 상승률 4~14%, 상·하수도비 상승률 4~14%, 물가 상승률 5~15%, 세금 및 화재보험료 상승률 1~5%로 변화할 경우 LCC 분석기간 15년 동안에 감도분석을 실시하였다.

Table 6, 7, 8, 9, 10, 11은 감도분석 결과를 나타낸다. 감도분석의 검토된 모든 조건에서 터보냉동기 방식보다는 냉온수 유닛 방식이 경제적인 방안이 됨을 알 수 있다. 한편 내용연수가 10~20년으로 변화될 때 현가법에 의한 LCC₁₀₋₂₀의 감도분석 결과는 Table 12와 같다. 검토된 내용연수 변화에 의한 조건에서도 터보 냉동기 방식보다 냉온수 유닛 방식이 경제적인 방안이 됨을 알 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는, 건축설비시스템의 갱신을 위한 최적 대체안 선정모델 개발을 위해 국내 실정에 적합한 HVAC 시스템의 비용분류체계 및 변수를 구축하였다. 또한, 이를 바탕으로 LCC 평가모델 및 전산프로그램을 작성하였으며, 냉열원시스템을 대상으로 사례연구를 실시하였다. 본 연구에서 도출된 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 제안된 HVAC 시스템의 비용분류체계는 3단계 수준을 가지는 비용분류체계로 구성하였으며, 기획·설계비, 초기투자비, 각종 지원금, 에너지비, 상·하수도비, 보전비, 일반관리비, 폐각비, 갱신비, 기타 비용 등 10가지로 대분류하고, 그 내에서 발생비용을 소분류하였다. 제안된 비용분류체계 특징은 Blanchard와 Fabrycky의 방법론에서 고려하지 않은 세금 및 보험료와 기존의 LCC 비용분류체계에서 전혀 언급이 없는 각종 지원금을 비용분류체계에 포함시켰다.

(2) HVAC 시스템의 LCC 비용분류체계의 구축 표현 방법으로 각 비용분류체계 블록에 대한 적절한 수준, 제목, CBS 번호, 블록번호를 결정하였으며, 특히 비용분류체계에 각종 현가 계수를 첨가함으로써 현가법에 의한 LCC 비용분류체계를 더욱더 명확하게 할 수 있도록 하였다.

(3) 냉열원시스템, 온열원시스템 및 공조시스템 해석을 위한 시스템별 LCC 평가 모델은 다음과 같다.

$$LCC = C1 + C2 - C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8_{-1} - C8_{-2} + C9 - C10_{-1} + C10_{-2} + C10_{-3}$$

HVAC 시스템의 종합 모델은 냉열원시스템, 온열원시스템 및 공조시스템을 합산하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$LCC_{-HVAC} = LCC_{-냉열원} + LCC_{-온열원} + LCC_{-공조}$$

(4) LCC 분석 및 감도분석에서 기본 전제조건 상태 및 에너지비상승률 4~14%, 상·하수도비 상승률 4~14%, 물가상승률 5~15%, 세금 및 화재보험료 상승률 1~5%, 할인율 7~17%, 내용연수 10~20년으로 변화할 경우, 터보 냉동기 방식보다는 냉온수 유닛 방식이 검토된 모든 조건에서 가장 경제적인 방안이 됨을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 1999년도 한국학술진흥재단 협동연구과제 연구비(E00161) 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim, D. W., 1998, A Study on Renewal Evaluation of Building Equipment System by AHP (Analytic Hierarchy Process), Ph.D., thesis, University of Dong-A, Pusan, Korea.
2. 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. 121.
3. Law, A., 1984, Life Cycle Costing in the USA, Chartered Quantity Surveyor, 6(2), pp. 338-339.
4. Ashworth, A. and Au-Yeung, P., 1987, The Evaluation of Life Cycle Costing as a Practical Tool During Building Design, Proceedings of 4th International Symposium on Building Economics, Vol. A, Copenhagen, pp. 566-576.