

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 23, No. 1, 2003

LCA 및 LCC를 고려한 환경친화적 리모델링의 평가방법에 관한 연구

A Study on the Evaluation Method of Green Remodeling Considering LCA and LCC

이관호*, 김남규**, 이언구***

Lee, Gwan Ho*, Kim, Nam-Gyu**, Rhee, Eon Ku***

Key words : 환경친화적 리모델링(Green Remodeling), 평가모델(Evaluation Model), 전생애비용(LCC)(Life Cycle Cost), 전과정평가(LCA)(Life Cycle Assessment), 경제성분석(Economic Analysis)

Abstract

This study aims to presents Evaluation Method of Green Remodeling that analyze the value of environment through expense, using the method of life cycle cost and life cycle assessment simultaneously. The results of this study are summarized as follows.

Evaluation Model developed in this study can convert economical value of environment into cost by integrating. In addition, the model can apply as a useful tool to estimation of economical design alternative as well as quantification of environmental loads and costs. Evaluation Model presented in this study observe energy consumption and the environmental load emission with qualification, it can forecast effect of environmental cost that cost estimation is expected to be added to energy cost rate by being possible. Synthetically, when Estimation Model and computer program that developed in this study is applies to the construction industry; reasonable management of environmental load is convenient at each step of Green Remodeling. In addition, at preliminary design phase, practical use may be possible by reasonable yardstick about various alternatives and improvement of design alternatives likewise by grasping environmental effect.

* 울산과학대학 공간디자인학부

** 동원대학 건축설비과 부교수

*** 중앙대학교 건축학과 교수

* School of Space Design, Ulsan College

** Associate Professor, Dept. of Building Services, Tongwon College

*** Professor, Dept. of Architecture, Chung-Ang University

1. 서론

1.1 연구의 목적

우리나라의 건축 관련사업은 70년대 이후 고도의 경제성장에 따른 양적팽창 일변도의 신축위주의 개발도상국형 건설산업구조였으나 최근에는 그 한계에 직면하고 있다. 또한, 노후건물의 기능을 회복하고 향상시켜 거주자에게 만족감을 줌과 동시에 건물의 자산 가치를 향상시킬 필요가 증대하고 있다. 이에 따라 시대가 요구하는 새로운 건축산업으로서 건축물의 리모델링 분야가 각광을 받고 있다. 건물 리모델링의 다양한 방안중에서 가장 시급한 대안은 환경친화적 리모델링(Green Remodeling)이다. 리모델링의 방안에 있어서 환경친화적 건축의 개념과 기법을 도입하는 것은 시대적 요구이자 장기적 관점에서 경제적으로 성공할 수 있는 유일한 대안이 될 것이다.

따라서, 본 연구에서는 전생애평가, 전생애비용 및 경제성분석의 일반적인 이론과 방법에 근거하여 환경부하 및 비용을 고려한 환경친화적 리모델링의 평가기법을 제시하고자 한다. 또한 주요 건축자재의 취득 및 생산과정에서부터 자재의 운송, 건물의 시공, 건물의 사용 및 건물의 폐기와 재사용/재활용과정에 이르기까지 건물의 전생애단계를 통하여 얻어지는 에너지관련자료를 이용하여 에너지비용 산정 기법과 실제 건물에 적용하기 위한 방법론을 제시하고자 한다. 이러한 방법론과 전생애에너지비용산정을 통하여 환경부하 및 비용을 고려한 평가모델을 제시함으로써 환경친화적 건물 리모델링을 우리나라에서 활성화시킬 수 있는 기초자료와 대안을 도출하고, 환경친화적 건물 리모델링의 확대보급을 위해 추후 지속적으로 연구 개발하여야 할 과제를 제안하고자 한다.

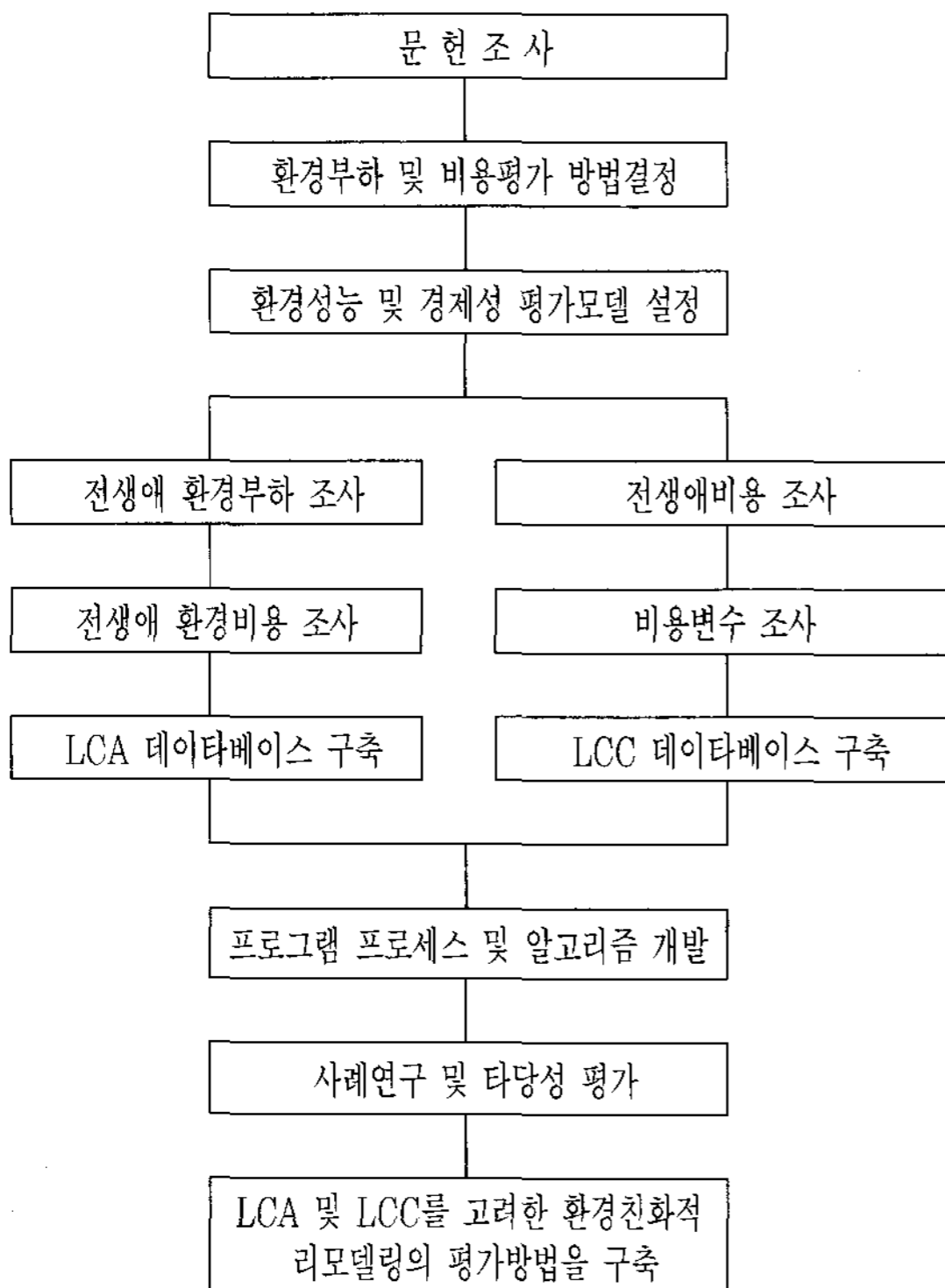


그림 1. 연구의 흐름도

1.2 연구의 방법 및 범위

LCA 및 LCC를 고려한 환경친화적 리모델링의 분석모델을 위하여 전생애비용(LCC) 또는 전과정평가(LCA)를 이용한 최적설계방법이나 환경친화성 평가에 대한 최근의 연구현황을 조사 및 비교하고, 국내 건물 리모델링 시장현황 및 건물부분별 리모델링 실시현황을 분석한다. 다음으로 전생애평가기법을 이용하여 건설산업의 각 단계에서 소비되는 에너지양과 CO₂ 발생량을 개별 적산법(실측) 및 산업연관분석방법으로 계산한 결과를 이용하여 자재생산단계, 시공단계, 사용단계 및 폐기단계에서의 에너지 소비, CO₂ 및 폐기 발생에 따른 환경비용을 고려한 분석모델을 개발한다. 마지막으로 이러한 환경부하 분석 및 경제성 분석 시뮬레이션을 위한 프로그램 프로세스 및 알고리즘을 개발하고, 사례연구를 통하여 분석모델의 타당성을 검토하여 환경친화적 리모델링의 전생애단계의 환경부하 및 비용을 분석할 수 있는 평가방법을 제시한다.

2. 시장현황 및 분석모델 설정

리모델링 시장현황분석 및 기존 문헌조사를 통하여 평가의 범위 및 전생애 건축시스템 경계를 설정하고, 자료수집방법과 대상자료를 선정하여 적산법 및 산업연관분석법을 이용한 환경부하의 원 단위를 산정한다. 이러한 범위 및 방법론을 이용하여 환경부하 및 비용을 고려한 평가기법 및 전산체계 모델에 기반이 되는 분석모델을 설정하였다.

2.1 국내 건물 리모델링 시장현황분석

우리 나라의 경우 공식적으로 리모델링 시장 규모를 추정할 수 있는 통계는 없지만, 한국은행에서 주기적으로 발간하고 있는 산업연관표를 통하여 유지·보수와 관련된 시장 규모는 간접적으로 추정할 수 있다. 1995년 불변가격 기준 우리나라 유지·보수 시장(개수 부문 제외)의 규모는 1980년도의 2조 100억원에서 1995년에는 6조1,150 억원으로 증가하였다. 이 기간 동안의 연평균 증가율은 7.7%로 추계되고 있다. 부문별로는 주택 부문의 유지·보수 물량이 9.6%로 가장 높은 연평균 증가율을 보여 1995년에는 3조8,270억원의 규모로 추정되었다. 따라서 주택부문이 전체 유지·보수 시장에서 차지하는 비중도 1980년의 47.9%에서 1995년도에는 62.2%로 크게 증가되고 있다. 한편, 비주택 부문은 1980~95년 기간 중 주택 부문보다는 낮은 연평균 5.3%의 증가율을 기록하여 1995년 현재 약 2조 2,880억원대의 물량 규모를 차지하고 있으며 시장의 규모 추이는 다음 표 1.과 같다.

이 가운데 1995년을 기준으로 할 때, 정부 비주택 부문의 유지·보수 물량은 약 2,330억원, 그리고, 민간 비주택 부문은 2조 550억원을 차지하는 것으로 나타나고 있다. 전체적으로 지난 15년간 유지·보수 시장의 성장 추이를 요약

표 1. 건축물 유지·보수시장의 규모 추이 (단위: 10억원(%))

구 분	합 계	주택부문	비주택 부문	
			정 부	민 간
1980	2,010(100.0)	963(47.9)	264(13.2)	783(38.9)
1985	3,666(100.0)	1,474(40.2)	260(7.1)	1,932(52.7)
1990	5,426(100.0)	2,795(51.5)	328(6.0)	2,303(42.5)
1995	6,115(100.0)	3,827(62.2)	233(3.8)	2,055(33.6)
1980~95 연평균증가율	7.7%	9.6%	-0.8%	6.6%

자료: 한국은행 산업연관표(1995년 불변가격 기준)

해 보면, 주택 부문의 성장이 가장 빠르게 나타나고 있고, 그 다음으로 민간 비주택 부문이 빠른 증가세를 보이고 있으며 정부 건축 부문은 상대적으로 물량 규모도 작고, 증가 속도 역시 타 부문보다 늦은 것으로 판단된다. 전체적으로 볼 때, 앞으로 리모델링 시장은 여건의 성숙과 함께 더욱 성장할 것으로 예상되며 특히, 현 단계에서는 물량 규모가 작은 개수부문의 시장이 빠르게 커질 가능성이 높다. 이는 급격한 사회 변동에 따라 기존 건축물의 사회적 요구 수준을 향상시키기 위한 개수에 대한 수요가 크게 증가할 것으로 판단되기 때문이다.

2.2 분석모델의 적용범위 및 방법

기존의 연구들은 성능, 환경부하 및 경제성을 구분하여 별개로 진행되어 왔으나, 본 연구에서는 환경성능 및 경제성을 동시에 고려하였다. 즉, 건축물의 신축의 경우 건축재료 및 자재사용에 따른 전생애 에너지소비, CO₂ 배출 및 폐기 발생에 따른 환경부하, 환경비용 및 경제성을 분석한다. 리모델링의 경우 건축 자재사용 및 성능에 따른 환경성능 및 경제성을 분석한다. 기존의 전생애비용(LCC), 전과정평가(LCA) 및 환경성능평가 모델에서 고려한 방법을 이용하여 분석모델의 적용범위 및 방법을 결정하였다.

1) 전과정평가(LCA)

건축물의 전과정평가의 범위는 건축자재의 생산, 건축물의 시공, 건물의 사용(유지보수), 폐기 단계로 이루어진다. 본 연구에서는 적산법으로 공동주택에서 에너지 투입량에 큰 영향을 미치는 주요자재(레미콘, 철근, 시멘트벽돌, 유리 및 시멘트)에 대하여 전생애단계의 에너지소비량을 산출하고, 산업연관분석법을 이용하여 대상자재 단위당 에너지원별 투입물량을 계산하였다. IPCC 에너지원별 발열량 원 단위 및 CO₂ 배출 원 단위를 이용하여 에너지소비량에 따른 CO₂ 배출량을 산정하였다.

2) 전생애비용(LCC)

분석기간은 리모델링에 따라 임의로 선정하였고, 선행연구를 참조하여 교체 및 수선시기 및 비용을 결정하였고, 전생애단계의 비용항목은 환경비용, 공정별비용, 운영·관리비용, 교체비용, 수선비용으로 분류하였다.

3) 환경성능평가

환경성능의 평가는 환경성능의 영향을 미치는 세부적 요소기술의 세부항목 평가를 기초로 시작하여 가중치 접근방법에 의해 성능 범주까지의 점수를 정량화하고, 산출된 최종 성능 영역 점수는 건물의 환경성능 등급을 제시하는데 사용한다. 본 연구에서는 CO₂ 배출량을 지구온난화에 의한 환경비용으로 환산하여 환경부하를 분석하였다.

2.3 평가분석모델의 설정

환경성능을 위한 평가도구, 적용범위(용도), 목적(모델), 전산화 알고리즘(전산체계)을 이용하여 평가모델(전생애 환경부하 산정, 전생애 환경비용 산정)을 설정하였다.

1) 환경성능 평가모델

평가대상을 선정하고, 적산법 및 산업연관분석

법에 의하여 환경부하 원 단위 및 데이터베이스를 구축한다. 환경부하 및 환경비용에 대한 환경성능 알고리즘을 이용하여 전생애 환경부하 및 환경비용을 산정하고, 환경성능을 공정 및 자재별로 평가한다. 건축물의 환경성능 평가모델은 그림 2.와 같다.

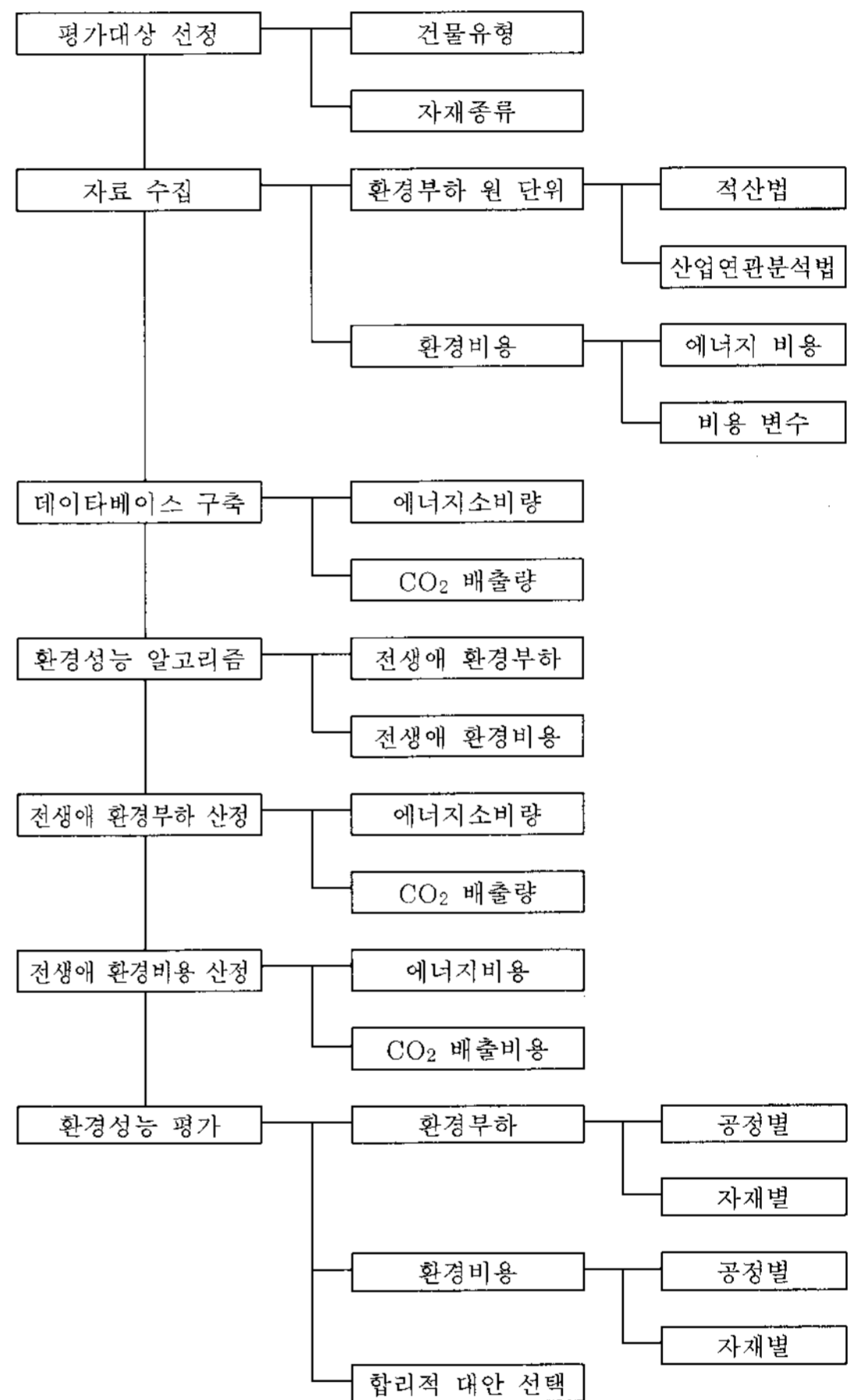


그림 2. 건축물의 환경성능 평가모델

2) 경제성 평가모델

평가대상을 선정하고, 초기공사비, 교체·수선비 및 운영·관리비의 자료를 수집하여 데이터베이스를 구축한다. 또한 전생애비용 및 경제성 분석에 대한 알고리즘과 전단계의 전생애 환경부하 및 환경비용 산정결과를 이용하여 전생애비용을 산정한다. 전생애비용에 대한 비용 비교분석과 경

제성 분석기법을 이용한 민감도분석, 투자회수기간, 편익/비용 비율 및 교체시기(감가상각) 등을 이용하여 대안을 평가한다. 이상에서 제안한 건축물의 경제성 평가모델은 그림 3.과 같다.

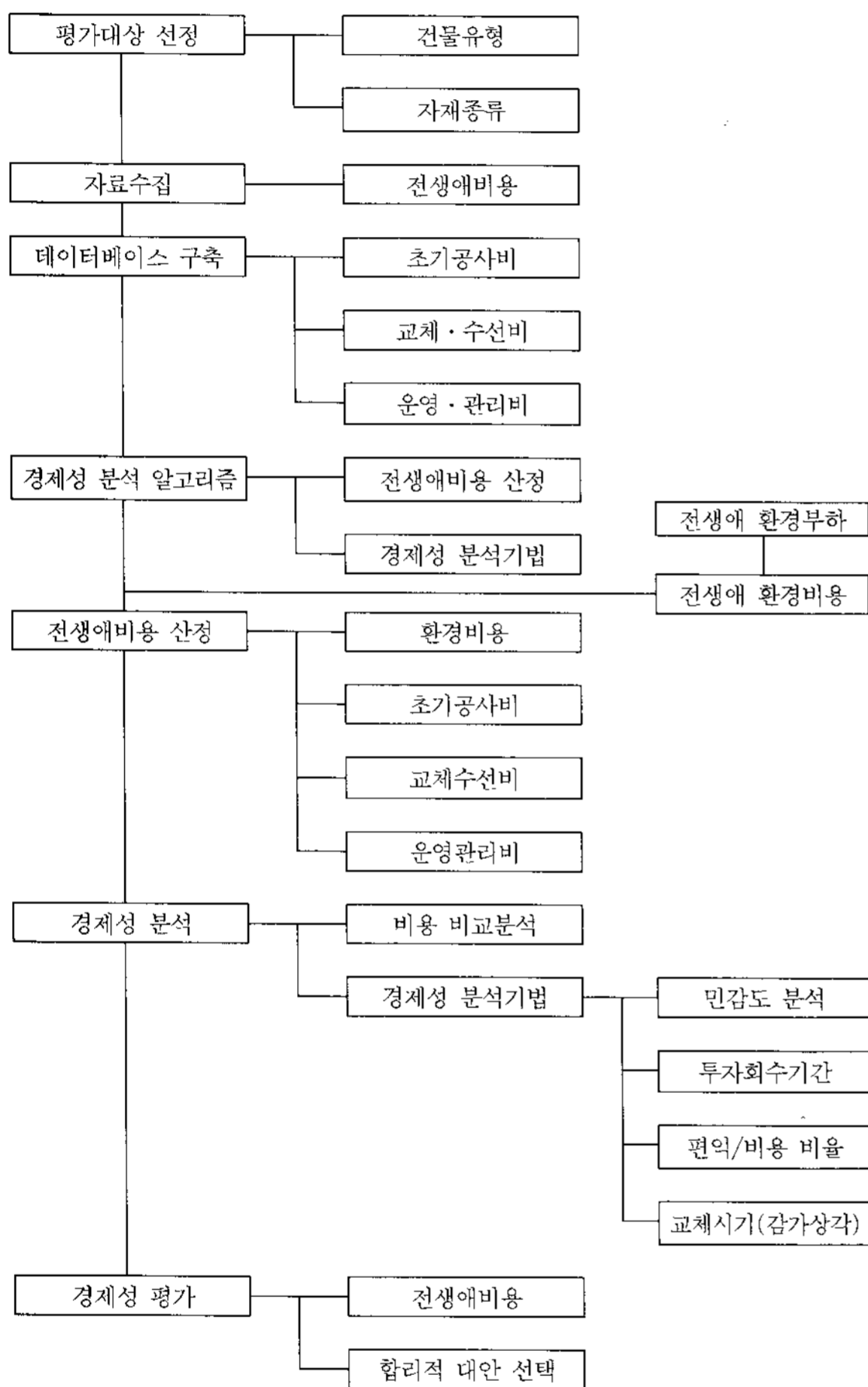


그림 3. 건축물의 경제성 평가모델

2.4 프로그램의 로직 및 알고리즘

건축물의 환경평가 프로그램의 로직 및 알고리즘을 환경성능 및 경제성으로 구분하여 전생애 환경부하 및 환경비용을 계산하고, 다양한 경제성 평가방법을 이용하여 분석한다.

1) 분석 및 평가방법

리모델링 공사에 대하여 기본형 및 대안 비교형

들의 전생애 환경부하, 전생애 환경비용, 전생애 비용 및 경제성 분석을 다음과 같은 방법으로 수행한다.

(1) 리모델링(기본형)

대안자료를 이용하여 전생애 환경부하의 민감도를 분석하고, 대안자료 및 비용변수 자료를 이용하여 전생애 환경비용의 민감도를 분석한다. 또한 환경비용을 불변비용 및 할인비용으로 나누어 분석한다.

(2) 리모델링(대안 비교형)

대안 비교자료를 이용하여 전생애 환경부하를 비교하고, 대안 비교자료 및 비용변수 비교자료를 이용하여 전생애 환경비용을 비교한다. 또한 불변비용 및 할인비용으로 나누어 환경비용을 비교하고, 다양한 경제성 분석기법을 이용하여 최적 대안을 결정한다.

2) 환경부하 및 비용산정 로직 및 알고리즘

비용분석을 위하여 비용을 불변비용, 할인비용(현가) 및 할인비용(현가+환경비용)으로 분류하고, 비용간의 변화 및 민감도를 찾아낸다. 또한 전생애단계의 환경부하 및 비용산정 모델 알고리즘은 표 2.와 같다.

불변비용은 시간에 따른 할인율을 고려하지 않고 단순 합계한 비용이고, 할인비용은 할인율을 고려한 것으로 이 논문에서는 미래의 모든 비용을 현가로 환산하였다. 할인비용(현가+환경비용)은 전생애비용에 CO₂ 발생에 따른 환경비용을 추가한 비용으로 그 계산 로직은 다음과 같다.

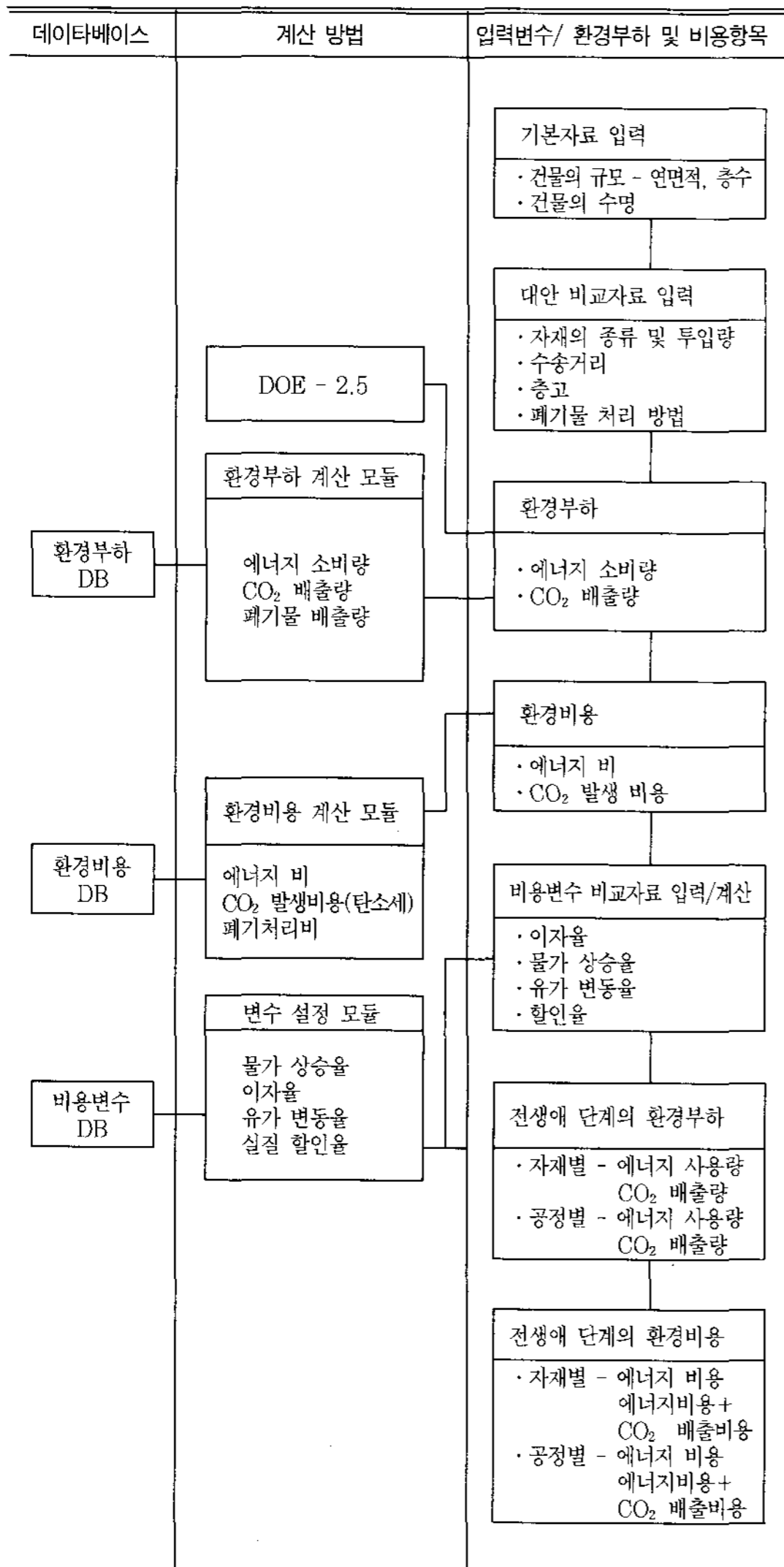
$$P + A \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n} \right] + W \times \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (\text{식 1})$$

여기서,

P : 생산단계 환경비용+시공단계 환경비용

A : 사용단계의 연간 에너지비용 및 CO₂ 배출 비용의 합
 n : 수명기간(년), i : 할인율
 W : 폐기단계 에너지비용 및 CO₂ 배출비용의 합

표 2. 건축물의 환경부하 및 비용산정 모델 알고리즘

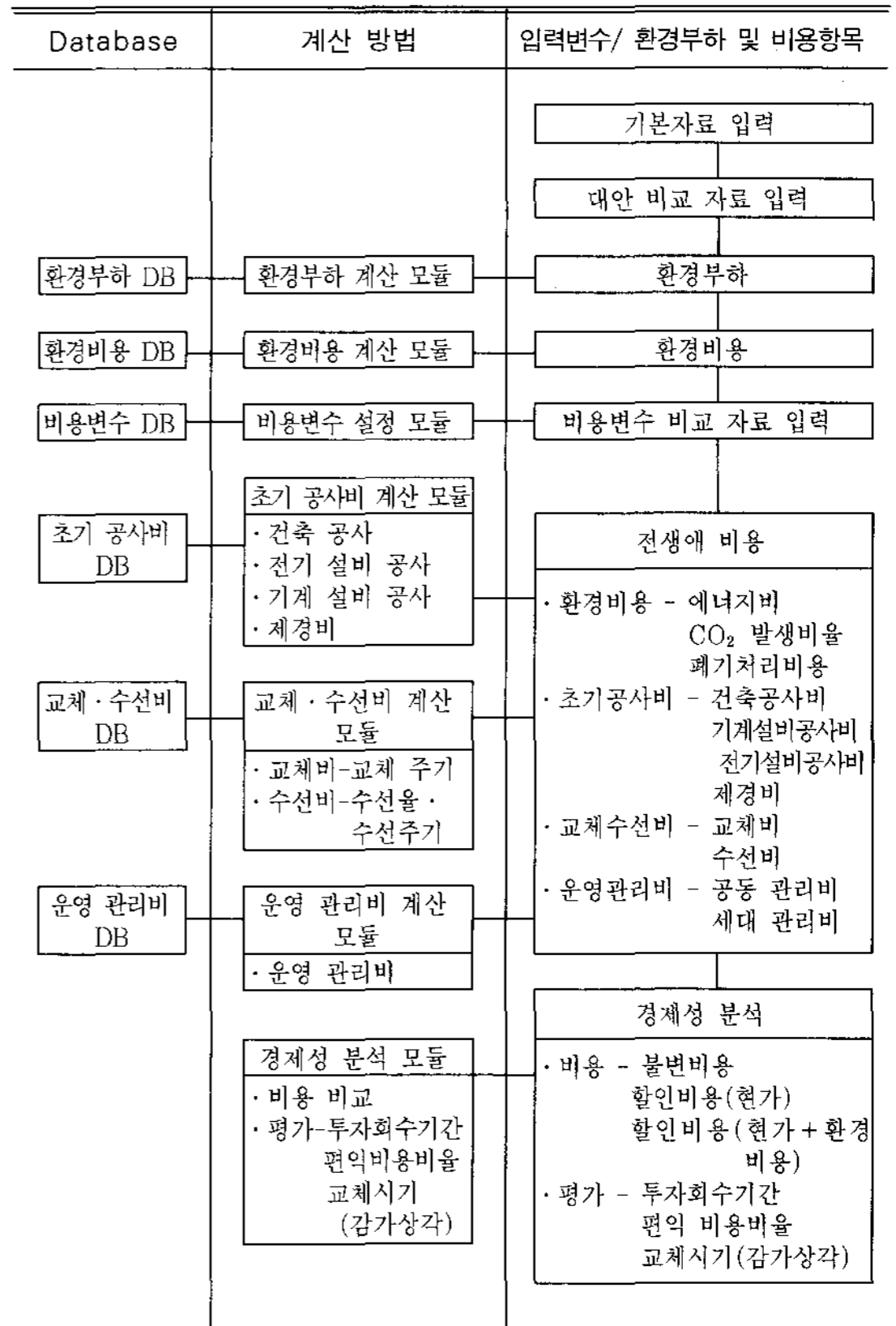


3) 전생애비용 및 경제성분석 로직 및 알고리즘

비용의 경제성 평가를 위하여 전생애비용, 투자 회수기간, 편익/비용 비율(B/C Ratio) 및 감각

삼각에 따른 교체시기 등을 사용한다. 전생애비용(LCC) 및 경제성 분석모델 알고리즘은 표 3.과 같다.

표 3. 전생애비용(LCC) 및 경제성 분석모델 알고리즘



(1) 생산단계 총비용 계산

에너지 종류별 가격과 에너지소비량을 곱하여 생산단계의 에너지비용을 계산하고, CO₂ 배출에 따른 환경비용(탄소세)과 CO₂ 배출을 이용하여 생산단계의 CO₂ 배출비용을 계산한다. 생산단계의 자재별 폐기비용은 생산 시 건축자재 폐기량에 폐기물 처리비용을 곱하여 구한다. 이상의 에너지 비용, CO₂ 배출비용 및 폐기비용을 더하여 생산 단계 총비용을 산정한다.

(2) 시공단계 총비용 계산

생산단계와 동일한 방법으로 에너지비용, CO₂

배출비용 및 폐기비용을 구하고, 시공 시 면적 당 (m²) 공종별 단가를 이용하여 공종별 비용을 계산한다. 이상의 에너지 비용, CO₂ 배출비용, 폐기 비용 및 공정별 시공비용을 더하고, 생산단계의 에너지비용과 폐기비용을 감하여 시공단계 총비용을 산정한다.

(3) 사용단계 총비용 계산(현가)

에너지 종류별 가격과 연간 에너지소비량을 곱하여 사용단계의 연간 에너지비용을 계산하고, CO₂ 배출에 따른 환경비용(탄소세)과 연간 CO₂ 배출을 이용하여 사용단계의 연간 CO₂ 배출비용을 계산한다. 사용단계의 자재별 연간 폐기비용 (W_a)은 다음의 식을 이용하여 계산한다.

$$W_a = W_1 \times \left[\frac{i}{(1+i)^t - 1} \right] \quad (\text{식 2})$$

여기서, W₁ : 사용단계의 폐기비용
t : 주기(년)

(4) 폐기단계 총비용 계산(현가)

생산단계와 동일한 방법 이용하여 에너지 비용, CO₂ 배출비용 및 폐기비용을 구하고, 다음 식으로 폐기단계의 총비용을 산정한다.

$$W t \times \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (\text{식 3})$$

여기서, Wt : 폐기단계의 에너지비용, CO₂ 배출비용 및 폐기비용의 합
n : 수명기간(년), i : 할인율

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

환경부하 및 비용을 고려한 환경친화적 리모델링의 컴퓨터시뮬레이션을 통하여 전생애비용

과 경제성분석 기법에 따른 분석모델의 타당성을 분석한다.

3.1 분석기준 설정

경제성 분석을 위한 대상건물은 전형적인 30평대의 아파트로 돈암동에 최근 신축한 공동주택의 단위세대를 선정하였고, 단위세대평면은 그림 4.와 같다.

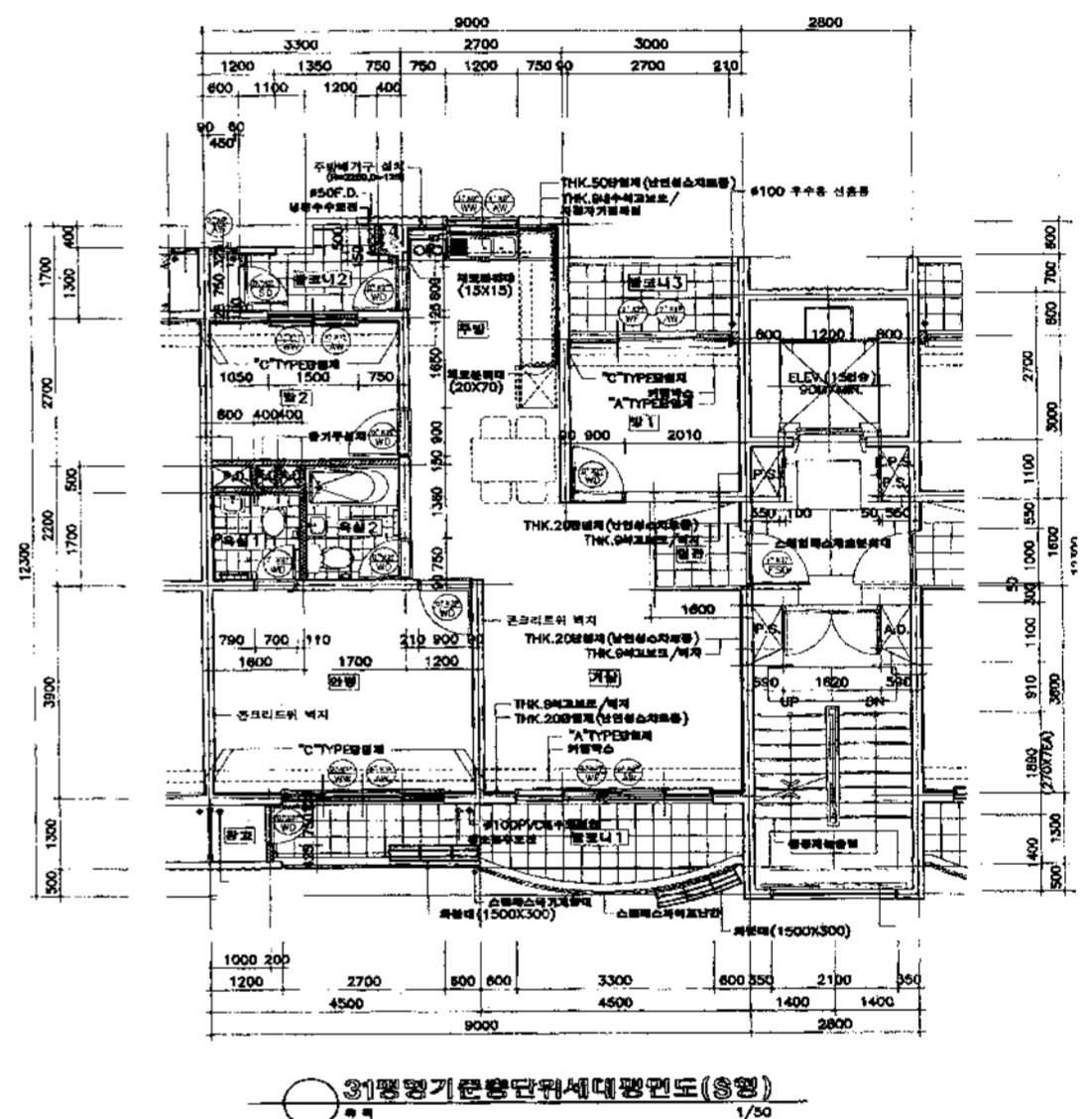


그림 4. 단위세대평면

리모델링 공동주택의 시뮬레이션을 위하여 분석의 기간은 사용 자재 및 설비의 수명기간으로 했고, 비용항목은 환경비용(에너지비용, CO₂ 배출비용, 폐기비용)과 초기공사비(2000년 물가자료를 이용한 에너지절약방안의 비용)로 구분하여 분석한다. 경제성 분석을 위하여 물가상승률 및 이자율은 최근 10년간의 평균치로 할인율을 계산했고, 에너지가격은 과거 10년간의 유가 상승률을 고려하여 결정하였다¹⁾. 또한 추가 공사비 항목 중에서 에너지소비량을 산출할 수

1) 이자율(10.1%), 물가상승율(5.8%), 할인율(4.06%) 유가상승율 : 물가상승율과 동일하다고 가정

있는 철근, 유리에 대하여 환경비용을 산출한다.

1) 에너지소비량 산정 시뮬레이션

기존 및 에너지 절약방안의 에너지소비량을 비교하기 위하여 VISUAL-DOE 2.5를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 연간 난방 에너지 소모량을 산정한다. 북측 면 및 남측 면 발코니 부분을 12mm 복층 유리로 차단한 에너지 절약 방안은 표 4.와 같다.

표 4. 에너지 절약방안

구 분	북측면 발코니	남측면 발코니	비 고
변경전	외부와 개방	외부와 개방	기존 공동주택
변경후	복층 유리	복층 유리	에너지 절약방안

2) 전생애 경제성분석

에너지소비량 산정 시뮬레이션을 통하여 구한 에너지절감량과 추가공사비를 이용하여 전생애비용(LCC)을 산출하고, 에너지절약 리모델링의 경제성을 분석한다. 여기서 space load를 보일러 효율과 도시가스의 발열량 으로 나누어 도시가스의 사용량을 구한 후, 도시가스 단가(2000년, 436.86원/m³)를 곱하여 연간 에너지비용을 산출한다.

(1) 전생애단계의 비용

에너지절약 방안에 대하여 환경비용을 고려한 전생애비용(LCC)은 생산, 시공(2000년 물가자료), 사용 및 폐기비용(할인율을 고려한 비용)으로 나눌 수 있고, 경제성 분석기간을 20년으로 가정할 때 각 대안들의 비용은 표 5.와 같다.

표 5. 전생애단계의 항목별 비용(원)

구분	생 산	시 공	사 용 (20년)	폐 기	총비용
기준안	0	0	9,207,000	0	9,207,000
절약안	132,000	3,007,000	5,256,000	950	8,575,000

절약 방안에 대하여 생산단계에서는 에너지비용, CO₂ 배출비용이 각각 87.9%, 11.4%를 차지했으며, 전생애단계의 에너지비용, CO₂ 배출비용 및 초기 공사비가 각각 62.8%, 2.3%, 35.0%를 나타냈다.

(2) 에너지절약 방안의 경제성 분석

에너지절약방안에 대한 경제성분석의 평가항목으로 투자회수기간, IRR, 그리고 B/C Ratio를 사용한다. 에너지절약방안의 내구연한을 20년으로 가정하고, 할인율을 4.13%, 물가상승율과 유사한 최근 10년간의 도시가스비 상승률을 고려할 때 절약방안의 투자회수기간은 표 8, IRR, 및 B/C Ratio는 그림 5.와 같다.

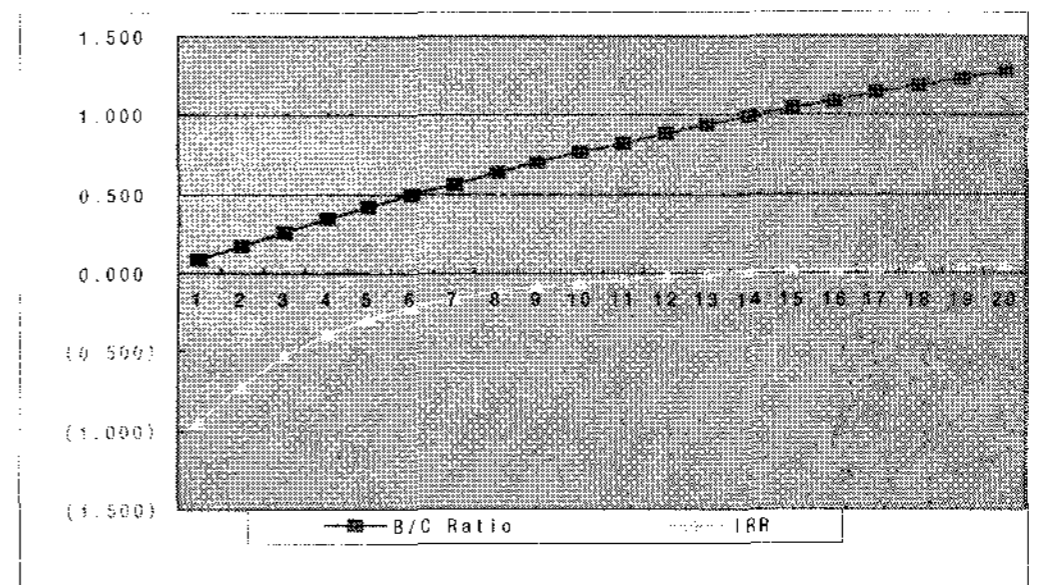


그림 5. B/C Ratio 및 내부수익율(IRR)

표 6. 주요변수의 변화율에 따른 B/C Ratio의 민감도

항 목	B/C Ratio의 민감도(%)				
	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
추가건축비	25.0%	11.1%	0.0%	-9.1%	-16.7%
에너지절감액	-19.0%	-9.6%	0.0%	9.6%	19.1%
CO배출비용	-0.9%	-0.5%	0.0%	0.5%	1.0%
할인율	7.5%	3.7%	0.0%	-3.5%	-6.8%

민감도 분석을 위한 중요변수들은 추가건축비, 에너지절감액, CO₂ 배출비용 및 할인율을 대상으로 B/C Ratio에 대한 민감도분석을 시행한다. 즉, 중요변수들의 값을 원래 값에서 -20%에서 +20%로 변화시켰을 때의 B/C Ratio의

변화율을 백분율(%)로 분석한다. 본 민감도분석은 에너지 절약방안에 이용하여 수행하였고, 그 분석결과는 표 6. 및 그림 6.과 같다.

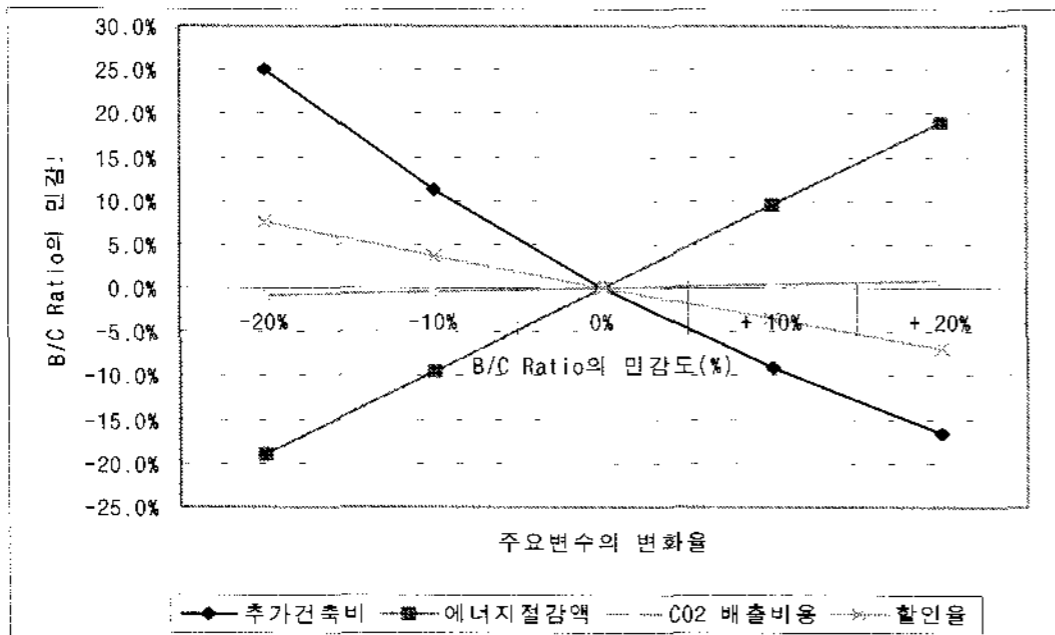


그림 6. 주요변수의 변화율에 따른 B/C Ratio의 민감도

위에서 분석되었듯이 주요변수의 변화율이 -20%에서 +20%일 때 B/C Ratio에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 추가건축비(25.0%~ -16.7%), 에너지절감액(-19.0%~19.1%), 할인율(7.5% ~ -6.8%), CO₂ 배출비용(-0.9% ~1.0%) 순이었으며, 추가 건축비 및 할인율의 변수가 부(-)의 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

3) 난방방식에 따른 경제성분석

환경비용을 고려한 난방 에너지원별 경제성 평가를 위해 본 연구에서는 공동주택을 대상으로 난방용 보일러의 방식을 소용량(개별난방)으로 가정한 후 보일러의 채원과 효율에 따라 에너지량을 산출한다. 보일러의 에너지원으로 심야전력과 경유 및 도시가스를 활용하였을 경우에 대한 경제성 분석결과는 다음과 같다.

(1) 투자회수기간

심야전력 대 경유 및 도시가스를 이용한 난방방식의 투자회수기간을 불변비용, 할인비용(현가) 및 환경비용을 고려한 할인비용으로 나누어 적용

한 결과는 그림 7.과 같다.

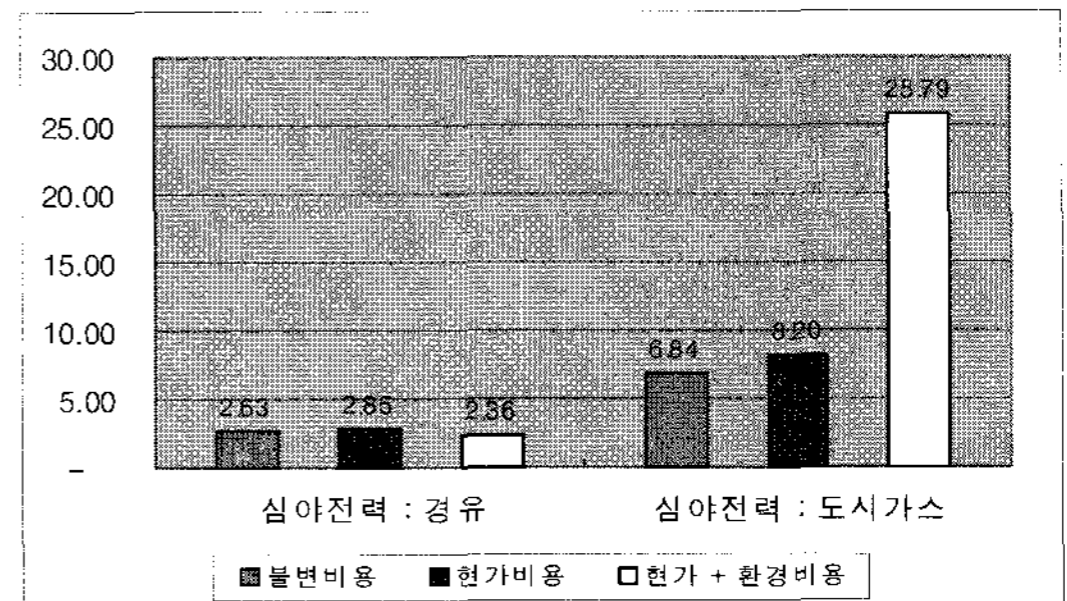


그림 7. 심야전력의 투자회수기간(소용량)

여기서 투자회수기간이 도시가스의 경우에 10배정도 증가한 이유는 도시가스가 제일 경제적이기 때문이다.

(2) 민감도 분석

초기투자비, 에너지절감액, 할인율 및 CO₂ 배출비용의 변화(-20%~+20%)에 따른 용량별 B/C Ratio의 민감도는 그림 8.과 같다.

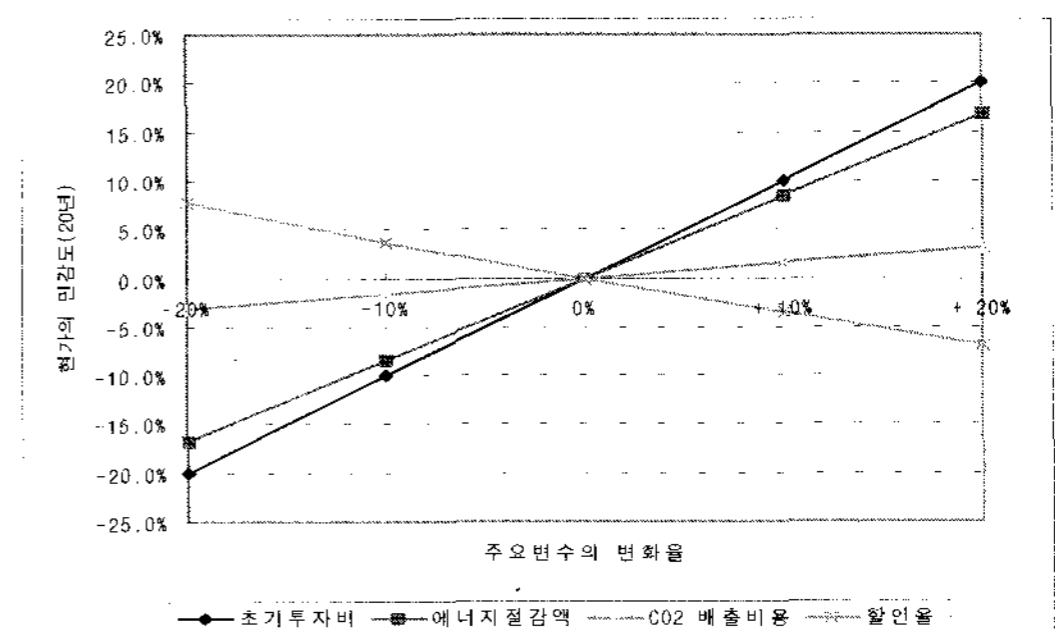


그림 8. B/C Ratio의 민감도(소용량)

환경비용을 고려한 심야전력의 난방방식에서, B/C Ratio의 민감도는 초기투자비, 에너지절감액, 실질할인율, CO₂ 발생비용의 순으로 나타났고, 실질할인율에서만 부(-)의 반응을 보였다.

(3) 감가상각에 의한 교체시기

감가상각²⁾을 고려하여 심야전력의 초기공사비

2) Chan S. Park, 김진욱외 11인 역, 현대공업경제학, p.348

및 유지보수비용(에너지 비용+환경비용)에 따른 용량별 적정교체시기는 그림 9.와 같이 나타났다.

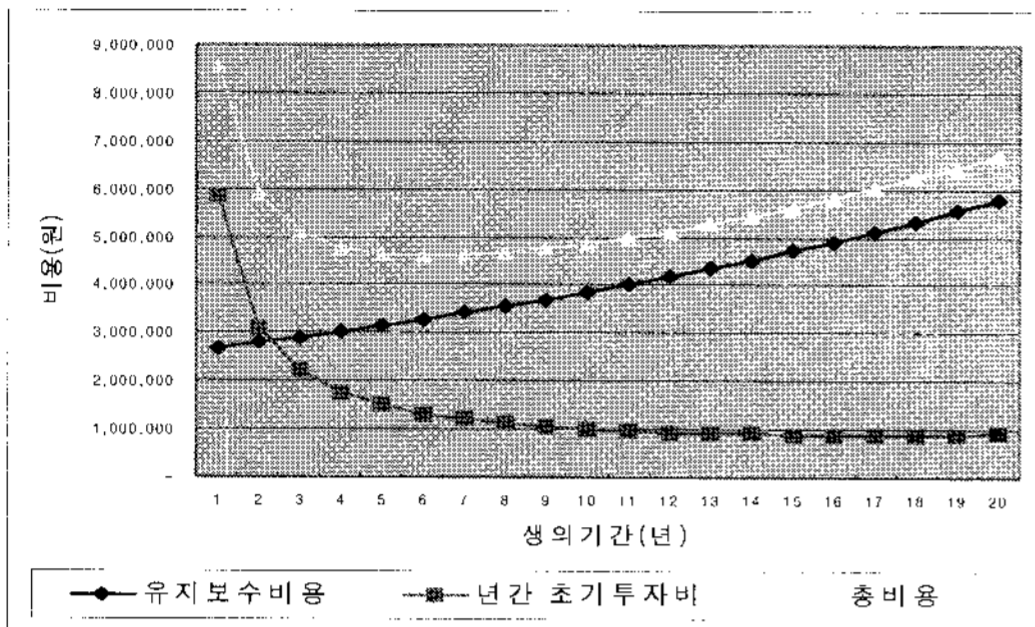


그림 9. 감가상각에 의한 교체시기

여기서, 총비용은 생애기간 동안에 동일하게 매년 발생하는 비용으로서, 환산한 초기공사비와 할인율을 고려한 유지보수비용(수선유지비를 제외)의 합으로 계산되며, 이 값이 가장 작은 년도가 적정 교체시기³⁾임을 나타내 주는 값이다.

5. 결론

본 연구는 환경부하 및 환경비용을 고려한 환경친화적 리모델링의 평가방법 및 전산모델 개발을 위하여 경제성분석의 일반적인 이론과 방법에 근거하여 공동주택의 각 단계에서의 소비되는 에너지량과 CO₂ 발생량을 고려한 환경부하, 환경비용 및 경제성분석 평가모델을 제시하였다. 이와 같은 기초연구를 토대로 본 연구에서는 건축물의 환경부하 및 비용평가 분석모델과 전생애단계의 데이터베이스를 이용하여 프로그램을 전산화하고, 컴퓨터시뮬레이션을 이용한 공동주택의 사례연구를 통하여 평가모델의 적용성을 검토하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 환경성능 향상에 중점을 두는 리모델링을 위하여 기존의 에너지성능 평가도구와의 밀접한 연계가 필요하고, 전생애 환경성능 및 경제성 분석을 통하여 환경친화적 리모델링 평가모델의 효용성을 확인하였다.
- 2) 본 연구에서 제시된 평가모델을 이용하여 건축물의 각 공정 및 사용자재별로 에너지 소비량 및 환경부하 배출량을 정량화하고 비용산출이 가능함으로써 추후 에너지비용에 추가될 것으로 예상되는 환경비용의 영향을 예측할 수 있다.
- 3) 공동주택의 리모델링 공사 시 에너지 효율이 좋은 재료의 사용이 전생애단계를 고려할 경우 환경부하 저감과 경제성이 있음을 알 수 있었다. 따라서 리모델링의 경우 사용단계의 환경부하를 줄일 수 있는 건축자재의 선택이 요구된다.
- 4) 전생애 경제성 분석결과 성능이 유사하면서 환경부하를 많이 발생시키는 건설자재는 환경부하뿐만 아니라 경제성에도 불리하였다. 따라서 수명기간 및 비용 등의 변수들에 대한 고려가 요구된다.
- 5) 종합적으로 본 연구에서 개발된 환경성능 및 경제성 평가 모델과 컴퓨터 프로그램을 건축산업에 적용할 경우 환경친화적 리모델링의 각 단계에서 합리적인 환경부하 관리가 용이하고, 또한 초기계획단계에서 환경영향을 파악함으로써 설계안의 개선 및 다양한 대안에 대한 합리적인 판단기준으로 활용이 가능할 것이다.

본 연구는 환경친화적 리모델링에 있어서 환경부하와 경제성을 동시에 고려하는 방법론을 제안하고 이를 위한 평가모델과 컴퓨터 프로그램을 개발하기 위한 목적으로 수행되었다. 그러나 시

3) 박승훈외 3인, "공동주택 열원 설비의 적정 교체시기 산정에 관한 연구", 대한건축학회논문집 15권, 11호, 1999. 11, pp. 204~205

간적인 제약과 자료수집의 한계로 인하여 한정된 건축자재에 대한 데이터베이스 구축과 공동주택이라는 제한된 건물유형에서만 적용 가능한 프로그램개발로 연구의 범위가 제안되었다. 앞으로 이와 같은 방법론이 환경친화적 리모델링을 위한 평가에 폭넓게 적용되기 위해서는 다음과 같은 후속연구가 필요하다.

- 1) 다양한 건축자재에 대한 현장조사를 통하여 꾸준한 데이터베이스의 보완이 필요하다.
- 2) 대체에너지를 포함한 에너지원과 냉방방식을 포함한 다양한 공조방식 등에 대한 자료보완이 요청된다.

참고문헌

1. 박승훈외 3인, "공동주택 열원 설비의 적정 교체 시기 산정에 관한 연구", 대한건축학회논문집 15권, 11호, 1999
2. 이관호, "건축물의 환경성능과 경제성을 고려한 평가 프로그램 개발에 관한 연구", 중앙대 건축공학과 박사학위논문, 2002
3. 이연구외 6인, "대우전자 전자연구소 건립계획에 대한 연구", 중앙대학교 생산공학연구소, 1998
4. 임미경, "공동주택의 환경친화적 리모델링 계획에 관한 연구", 중앙대 건축학과 석사학위 논문, 2001
5. 조균형, "건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용산정에 관한 연구", 한국과학재단 특정기초연구 최종보고서, 2001. 10
6. 함효준, *경제성공학*, 동현출판사, 서울, 1998
7. Chan S. Park, 김진욱외 11인 역, *현대 공업 경제학*, 경문사, 2000
8. Courtland A. Collier & Charles R. Glagola, *Engineering Economic and Cost Analysis*, Addison-Wesley, 1988
9. Edward, Suzy, Bartlett, Ed & Dickie, Lan, "Whole Life Costing and Life-Cycle Assessment for Sustainable Building Design : Digest452", Walford, Great Britain, CRC Ltd, 2000. 11.
10. Thomas Björund, Åsa jönsson and Anne-Marie Tillman, "LCA of Building Frame Structures", Chalmers University of Technology, 1996
11. Yong-Su Kim and Göran Runeson, "The Theory and Practice of Investment Evaluation", School of Building University of New South Wales, 1995