환경비용을 고려한 건물에너지 절약방안의 경제성 분석방법에 관한 연구

A Study on the Economic Analysis Method of Building Energy Saving Measures Considering Environmental Costs

이 관 호*, 권 영 철**, 이 언 구***
Lee, Gwan Ho Kwon, Young Chul Rhee, Eon Ku

Abstract

This study presents a method of economic analysis of building energy saving measures. The basic principle and method of economic analyses were investigated and total life cycle cost considering environmental costs according to energy consumption and CO_2 generation at each life cycle phase of a building was analyzed.

If the life of a sample apartment building is 20 years and the discounted rate and the increasing rate of oil price is respectively 4.13% and 5.8%, a sample energy saving measure that the internal rate of return comes to be 0 can have economic benefit from 13 years after construction. In the analysis of total life cycle cost considering environmental costs, it is indicated that the environmental cost depends on running phase. Therefore, it is required to apply energy conservation building system to reduce the environmental costs. As a result of the sensitivity analysis of Benefit/Cost(B/C) Ratio of the sample energy saving measure, the most influential factors were additional construction cost and saved energy cost, and the additional construction cost and discount ratio had negative effect.

키 워 드 : 경제성분석, 에너지절약, 전생애비용, 환경비용
Keywords : Economic Analysis, Energy Conservation, Life Cycle Cost, Environmental Costs

1. 서 론

1.1 연구의 목적

현재 전세계적으로 지구환경과 관련되어 관심의 초점이 되고 있는 문제는 바로 지속가능한 개발(Sustainable Development)이다. 건축에 있어서 지속가능한 개발이란 '에너지절약형 건축', '자원절약형 건축', '환경오염최소화 건축', '자연친화형 건축' 등 여러 가지 개념이 있을 수 있지만, 이중에서도 가장 중요한 것은 건물의 에너지 소비를 최소화함으로써 자원을 절약하고 생태계와 지구환경을 보전하는 에너지절약형 건축이다. 왜냐하면 지구온난화와 에너지자원의 유한성 등 어려움을 극복할 수 있는 가장 적절한 대책이기 때문이다. 그러나, 우리나라의 경우 선진국에 비해 에너지절약형 건물과 절약기술의 보급이 매우 저조하고 실효성도 크게 떨어지는 실정이며, 그 가장 큰 이유는 에너지절약형 건물의 경제성에 대한 인식수준이 외국에 비해 상대적으로 떨어지기 때문이다. 건축물도 재화의 일종이라고 볼 때 건축물의 가치판단에 있어서 가장 중요한 요소의 하나는 바로 경제적 효용성, 즉 경제성이다. 일반적으로 우리나라에서 연구개발된 건물에너지절약기술은 경제성을 도외시하고 단지 기술적 성능만을 고려한 경우가 대부분이고, 설령 경제성이 있는 에너지절약기법이라 하더라도 설계자나 시공자 혹은 건축주나 일반인들의 경제적 효용성에 대한 인식이 극히 부족하여 에너지절약형 건물의 보급이 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 경제성분석의 일반적인 이론과 방법을 정리하고, 이를 건물에너지 절약방안에 적용하여 환경비용을 고려한 경제성분석 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해서는 에너지의 환경적 가치를 분석함으로써 에너지 경제성 분석을 위한 전제조건을 설정한다. 이와 함께 현시점에서 개발되었거나 적용 가능한 건물에너지절약기법의 경제성분석을 위하여 에너지절약량과 투자비에 대한

* 정회원, 중앙대학교 대학원 건축공학과, 박사과정
** 정회원, 한라대학교 건축토목공학부 전임강사, 공학박사
*** 정회원, 중앙대학교 건축학과 교수, 건축학박사
이 연구는 1998년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호 : 98-0602-01-01-3

단순비교 경제성을 파악한 뒤, 이를 근거로 전생애단계에서 적용가능한 경제성 분석을 실시하였다.

1.2 연구의 방법 및 범위

1) 각종 참고문헌과 관련자료를 정리하여 경제성분석의 이론과 방법을 고찰한다. 특히 건축기술의 공학적 측면을 고려하여 경제성공학의 이론을 고찰한다.

2) 전과정평가기법을 통한 총 에너지소비량과 환경부하 발생량을 개별 적산법(실측)으로 계산하여 환경비용을 고려한 건축산업에서의 생애총에너지비용(LCEC)을 산정함으로써 건설산업의 각 단계에서의 소비되는 에너지량과 CO_2 발생량 및 폐기물 발생량을 조사한다.

3) 전생애단계의 환경비용 산정을 위하여 자재생산단계, 시공단계, 사용단계, 폐기단계에서의 생애총에너지비용과 CO_2 발생에 따른 환경비용을 고려한 생애총비용의 모델링을 통해 각 단계 및 인자들의 상관성을 분석한다.

4) 사례공동주택에 적용가능한 에너지절감방안 중 실현가능한 절약방안으로 단순화하기위해 북측면의 발코니에 이중창 및 단열을 설치한 경우에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 및 환경비용을 고려한 전생애비용의 검토를 통하여 전생애단계에서 적용가능한 건물에너지 절감방안의 경제성 분석도구를 제시한다.

2. 경제성 분석 이론

2.1 경제성 분석의 목적

경제성 분석이란 기본적으로 많은 대안이 시간의 경과에 따라 어떠한 경제적 영향을 만들어 내는가를 조사해 이것들을 평가하는 것이다. 사람이 행하는 경제적 판단은 유한한 자원을 서로 경쟁적인 관계에서 여러 가지 욕망을 충족시키기 위하여 배분하는 문제이며, 그 배분이 적정한가의 여부를 결정하는 기준은 배분의 경제적 효율성에 있다고 볼 수 있다. 경제성의 판단기준[1]은 각 대안을 실행하기 위하여 투입된 자원(input resource)과 대안의 성과(output result)를 각각 금액으로 환산하고, 다음 3가지 중의 한가지 기준에 의거하여 이들 대안의 경제성을 판단한 후 최선책을 선정하게 된다.

(1) 투입액이 고정되어 있는 경우에는 대안의 성과(benefits)가 가장 큰 대안을 선정

(2) 대안의 성과가 고정되어 있으면 대안의 원가(costs)가 가장 적은 대안을 선정

(3) 투자액과 대안의 결과가 모두 고정되어 있지 않으면 대안의 원가와 대안의 성과와의 차 또는 이익(profit)이 가장 큰 대안을 선정

2.2 경제성 분석기법

일반적인 경제성 분석 및 평가방법은 자금의 흐름을 어느 시점의 등가로 환산하여 대안의 경제성을 평가하는 현가 분석법, 연금 분석법, 종가 분석법 및 투입되는 비용과 얻어지는 이익이 등가가 되는 비율을 비교하여 대안의 경제성을 평가하는 수익률 분석법, 편익/비용비율 분석법이 있다.[2] 또한 추정, 위험 및 불확실성을 고려한 분기점 분석법, 민감도 분석법, 위험도 분석법, 시뮬레이션 등이 있다.

1) 순현가법(NPV)

현가액법 또는 순현가액법이라고도 하는데 각 대안에 대한 미래의 수입과 지출을 이와 등가인 현가로 계산함으로써 각 대안의 상대적인 우열을 쉽게 구별할 수 있는 방법이다.[3]

2) 내부수익률법(IRR)

내부수익률(內部收益率)이란 단일 투자안에 대하여 표현한다면 일련의 수입과 지출을 현가로 바꾸어 0 이 되게 하는 이율을 말하며, 빌린 자금에 대하여 아직 갚지 않은 미지불액에 대한 이율이라 할 수 있다.[4]

3) 편익/비용 비율 분석법(BCR)

편익/비용 분석이란 어떠한 사업(project)이나 계획(program)에 대한 경제적인 혜택과 비용을 구성하고 있는 모든 요인들을 정부나 또는 사회라는 공공의 입장에서 규명하고 측정하는 체계적인 방법이다.[5] B/C 비율을 사용하면 투자액의 단위당(單位當) 순현가(純現價)를 계산할 수 있어서 서로 규모가 다른 투자안을 쉽게 비교할 수 있다.[6]

4) 분기점 분석법(BEP)

분석대상이 되고 있는 두 개 또는 그 이상의 대안들이 동일한 변수에 의해 이들의 비용이 변화할 때 이들 대안의 비용이 같게 되는 변수의 양을 분기점(Break-Even Point)이라고 한다.[7]

5) 민감도 분석법(Sensitivity Analysis)

하나의 변수가 변화함에 따라 최종 결과가 얼마나 민감하게 변화하는가와 민감한지의 여부를 나타내는 분석을 민감도분석(sensitivity analysis)이라고 한다.[8]

6) LCC(Life Cycle Cost)

LCC분석이란 다수의 설계 대안에 대하여 건축물의 Life Cycle 전과정의 모든 비용(LCC)을 경제수명 범위 안에서 등가 환산한 값으로 각 대안의 경제성을 비교·평가하는 수법이다.

2.3 경제성 분석을 위한 기초사항

1) 재화의 시간적 가치

실질 할인율 : 미래에 발생하는 금액을 현재의 가치로, 또는 현재의 금액을 미래의 가치로 등가 환산한다.

---

1) 이상용, "경제성공학", 영설출판사, 1993, pp.11 12

2) Ibid., pp.107 108

3) 함효준, "경제성공학", 동현출판사, 1998, pp.39 47

4) Ibid., 1998, pp.39 47

5) Ibid., p.496

6) 김광춘, "경제성 분석에 의한 사무소건물의 건축규모결정에 관한 연구", 서울대 석사학위논문, 1997.2, p.7

7) 함효준, op. cit., p.447

8) Ibid., pp.478 479

$$i = \frac{1+i'}{1+j} - 1 \quad \cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

여기서, i' : 이자율
j : 물가상승율

2) 분석방법

(1) 단순 합계법 : 이자율을 무시하고 합계

(2) 현재 가치법 : 현재와 미래의 모든 비용을 현재가치(현가)로 환산

- 집중 정액형(집중하여 1회만 발생하는 비용)

$$Cp = \sum_{t=1}^{T} \frac{Ct}{(1+i)^t} \cdot \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

여기서, Cp : 현재가치
Ct : t년 후에 발생하는 비용
T : 검토기간
i : 이자율

- 연속 정액형(매년 연속하여 발생하는 비용)

$$Cp = \frac{(1+i)^T}{i(1+i)^T} \times C2 \quad \cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

여기서, C2 : 매년간 발생하는 비용

- 주기정액형(일정 주기마다 반복하여 발생하는 비용)

$$Cp = \frac{(1+i)^{ML}}{i(1+i)^L} \times \frac{C3}{(1+i)^{ML}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

여기서, C3 : 매 주기마다 발생하는 비용
L : 발생 주기
M : 발생 회수(정수부분(T-1)/L))

(3) 년등가액법 : 초기비용, 집중정액형 비용, 연속정액형 비용 및 주기 정액형 비용을 년간의 균등비용으로 변환

$$Cr = \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \times \sum_{t=1}^{T} \frac{Ct}{(1+i)^t} \cdots\cdots\cdots \quad (5)$$

3) LCC 분석

(1) 초기 공사비 : 정부 표준품셈 등이 정하는 견적기준
직접공사비 + 제잡비

(2) 유지관리비 : 일반관리비, 청소, 소독비, 유지비,
에너지비 - 실제집행 평균금액
장기 수선비 - 수선율 참고

(3) 폐기비용 : 견적 또는 문헌자료

(4) 현재가치 등가 환산 :
초기 공사비 - 현가
유지관리비 - 장기 수선 외 - 연속 정액형
장기 수선비 - 현재가치 등가환산
폐기비용 - 집중정액형

3. 전생애단계의 환경비용 산정

철근콘크리트 공동주택의 주요 재료인 레미콘, 철근, 시멘트, 시멘트벽돌 및 유리에 대하여 자재생산단계, 시공단계, 사용단계, 폐기단계에서의 에너지 소비비용과 CO_2 발생에 따른 환경비용, 폐기비용, 초기공사비 및 유지관리비용을 생애총비용으로 예측하고, 각 항목별 비용을 분석·비교하였다.

3.1 전생애평가의 개요

본 연구는 신축공사를 대상으로 건축물의 전생애평가를 수행하기로 하였으며 건축시스템의 전생애단계에 걸쳐 투입되는 많은 물질 중에서 주요 재료인 레미콘, 철근, 시멘트. 시멘트벽돌 및 유리에 대하여 에너지의 투입량에 큰 비중을 두어 데이터를 수집하였다. 에너지소비에 따른 환경부하의 발생에 자료수집 범위를 한정하며, 여러 환경부하항목 중 지구온난화현상의 원인이 되고 있는 CO_2에 초점을 맞추어 자료를 수집하였다.

건축 시공자료는 전라도 순천 생목현장의 B사의 자료를 이용하였으며, 시공, 거주단계, 폐기의 기준점과 영역은 서울의 임의의 한 장소로 간주하였다. 또한 자료수집의 시간적 범위는 가능한 최근 3년 이내의 자료를 이용하였고, 에너지비용은 과거 10년간의 유가 상승률을 기초로 하였다. 주요자재의 사용량을 t으로 환산하여 단위면적당 사용량을 산출한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 주요자재의 단위면적당 사용량

구 분	사용량(Ton)	단위면적당 사용량(kg/㎡)
레미콘	7,130.3	1,131.4
철근	337.5	53.6
시멘트벽돌	164.1	26.0
시멘트	400.0	63.5
유리	17.5	2.8

건물 폐기시의 환경비용은 재활용 비율을 고려하여 폐기시 매립지로 이송되는 운송단계에서 고려하였으며, 실질 할인율은 표 2와 같이 최근 10년간의 평균값인 4.13%를 사용하였다.

표 2. 실질 할인율(Discount Ratio)

년도	이자율	물가상승율	실질할인율
1990	10.00%	8.6%	1.31%
1991	10.00%	9.3%	0.64%
1992	10.00%	6.2%	3.56%
1993	8.50%	4.8%	3.51%
1994	9.25%	6.2%	2.83%
1995	8.75%	4.5%	4.08%
1996	9.80%	5.0%	4.61%
1997	11.10%	4.2%	6.59%
1998	15.32%	9.9%	4.95%
1999	8.52%	-0.7%	9.26%
평균	10.10%	5.8%	4.13%

또한 유가변동율[9]은 표 3과 같이 최근 10년 평균치를 사용하였다.

9) 에너지기술연구원, 석유류 제품가격의 월간, 연간 변동, http://her.keei.re.kr

표 3. 유가변동율(등유, 도시가스)

구분	1992	1994	1996	1998	2000	상승율
등유(원/ℓ)	235.7	252.3	314.5	498.2	513.7	10.20%
도시가스(원/㎥)	284.9	295.5	301.9	435.6	436.9	5.33%

3.2 환경비용의 산정[10]

건축물과 관련있는 환경부하는 대기, 수질, 폐기물 등 여러 분야로 나눌 수 있지만 건축의 에너지 비용 산출이라는 관점에서 본다면 연료의 사용 등과 관련이 있는 지구온난화 문제와 불가분의 관계이다. 지구온난화 문제의 원인물질은 온실가스이고, 온실가스의 기여도를 추정한 결과, 여러 온실가스 중 CO_2의 기여도가 절대적인 것으로 나타났다. 환경비용을 산정하기 위한 기본틀은 에너지사용에 따른 탄소의 배출에 따라 환경부과금으로 가정하여 현재 EC를 중심으로 부과중이거나 검토중인 탄소·에너지세를 도입적용하는 방안과 배출권 거래가격을 적용하여 지구 온난화비용을 산정하는 두 가지로 나누어 산정할 수 있다.

에너지원별 단위 소비를 증가했을 경우 지구온난화의 사회적 비용의 증가량 즉, 지구온난화의 사회적 한계비용을 구할 수 있다. 배출권거래가격이 주어질 경우 에너지원별 단위당 지구온난화의 사회적 비용은 다음과 같은 과정을 통해 산출된다.

에너지원별 지구온난화의 사회적비용(원/(ℓ,kg,Nm^3)) = 에너지 단위당 발열량(kcal/ℓ,kg,Nm^3)) ÷ 10^7kcal × 탄소배출계수(탄소톤/TOE) × 배출권가격(원/탄소톤)[11]

따라서, CO_2 발생에 따른 에너지원별 지구온난화의 사회적 비용은 에너지원별 발열량, 탄소배출계수, 배출권 가격을 통하여 알 수 있다.

3.3 단계별 비용

자재생산단계, 시공단계, 사용단계, 폐기단계에서의 생애 총 에너지비용과 CO_2 발생에 따른 환경비용을 고려한 생애총비용의 모델을 만들고, 철근콘크리트 공동주택에 적용하여 환경비용을 고려한 생애총비용과 생애총비용을 순현가(50년)로 예측하여 각 항목별 비용을 분석·비교하였다.

1) 자재생산단계

자재생산단계에서는 환경비용인 에너지 소비비용, CO_2 발생비용, 폐기물 처리비용만 고려하였고, 자재생산비는 시공단계에 포함된 것으로 가정했으며 그 결과는 표 4와 같다.

표 4. 자재생산단계의 총비용

구 분	에너지 비용주1)	CO_2주2) 발생비용	폐기물주3) 처리비용	생산비용 (원/㎡)
레미콘	2,849	4,849	-	7,698
철근	127	101	35	263
시멘트벽돌	70	115	7	192
시멘트	382	1,747	-	2,129
유리	39	35	-	74
총비용	3,467	6,847	42	10,356
비율(%)	33.5%	66.1%	0.4%	100%

주1) 한국전력공사의 현행전기요금표 및 물가정보, 2000년

주2) 이산화탄소 배출원단위 × CO_2 1kg당 저감비용(82.8원/kg-CO_2)

주3) 현행전문업체의 실제사용단가 적용(1999)

2) 시공단계

시공단계의 항목은 환경비용(에너지 소비비용, CO_2 발생비용, 부수 폐기물 처리비용)과 초기공사비로 나누었으며 초기공사비는 자재생산 및 시공단계의 에너지비용을 감하였다. 환경비용의 산출은 자재생산단계와 유사한 방법으로 산출했으며 그 비용은 표 5와 같다.

표 5. 시공단계의 총비용

구 분	에너지 비용	CO_2 발생비용	폐기물 처리비용	초기 주) 공사비	시공비용 (원/㎡)
레미콘	770	297	385	-	1,452
철근	911	372	112	-	1,395
시멘트벽돌	143	55	110	-	309
시멘트	843	401	9	-	1,252
유리	32	12	-	-	45
총비용	2,699	1,138	615	502,46	506.91
비율(%)	0.53%	0.22%	0.12%	99.13%	100%

주) 김동현, "철골 및 철근콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프사이클코스트 분석에 관한 연구", 중앙대 건축설계학과 석사학위논문, 1999

3) 사용단계

수명주기(50년) 동안에 발생되는 사용단계의 환경비용, 운영·관리비용 및 교체·수선비용을 할인비용으로 산출하였고, 할인비용을 산출하기 위해서 표 2에서 구한 실질할인율은 4.13%이며 유가변동율을 고려할 때 도시가스의 상승율을 물가상승율과 같다고 가정하였다. 공동 및 세대관리, 교체 및 수선에 대한 사용단계의 총비용은 표 6과 같다.

10) 조균형, "건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용 산정에 관한 연구", 한국과학재단 특정기초연구 제2차 중간보고서, 2000.5

11) 우리나라와 기후변화 협약, 1999(CO_2 1톤당 저감비용은 $690(82,800원)가 소요)

표 6. 사용단계의 총비용

구 분	에너지 비용주1)	CO_2 발생비용	운영관리 비용주2)	교체수선 비용주2)	사용비용 (원/㎡)
공동	38,560	19,196	145,741	-	203,497
세대	140,971	68,578	13,760	-	223,309
총비용	179,531	87,774	159,501	188,470	615,276
비율(%)	29.18%	14.27%	25.92%	30.63%	100%

주1) 전라도 순천 공동주택의 에너지소모량

주2) 김동현, "철골 및 철근콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프사이클코스트 분석에 관한 연구", 중앙대 건축설계학과 석사학위논문, 1999

4) 해체·폐기단계

해체·폐기단계는 에너지 소비비용, CO_2 발생비용, 폐기물 처리비용으로 나눌 수 있으며, 건물의 수명이 끝나는 시점에서 이루어지며 비용으로 폐기물처리비용은 에너지 비용을 감하여 산출한 것으로 표 7과 같다.

표 7. 폐기단계의 총비용

구 분	에너지 비용주1)	CO_2 발생비용	폐기물주2) 처리비용	폐기비용 (원/㎡)
레미콘	344	136	2,812	3,292
철근	33	13	100	146
시멘트벽돌	16	10	56	82
시멘트	27	14	150	191
유리	1	0	8	9
총비용	420	173	3,127	3,720
비율(%)	11.3%	4.6%	84.1%	100%

주1) 건설폐기시 발생하는 모든 종류의 에너지원과 각 단위비용의 곱으로 산정하였음(1999)

주2) 생산단계의 폐기비용과 동일한 방법으로 계산

5) 생애총비용의 항목별 비교

생애총비용 모델 및 자료조사 내용을 바탕으로 철근콘크리트 공동주택의 환경비용을 고려한 생애총비용에 대한 예측과 비용항목의 상호비교를 통해 자재선정 및 각 단계에서 고려할 사항을 알 수 있었다. 즉, 건물의 사용기간을 50년으로 가정할 때 사용단계의 비용이 가장 많았고, 주요자재 중에서는 레미콘, 시멘트가 각각 66%, 19%를 차지했다. 또한 환경비용인 에너지 소비비용, CO_2 발생비용 및 폐기처리비용이 각각 65%, 34%, 1%를 차지했으므로 CO_2 발생비용은 에너지 소비비용의 약 절반임을 알 수 있으며, 전생애단계에서의 항목별 비용은 그림 1과 같다.

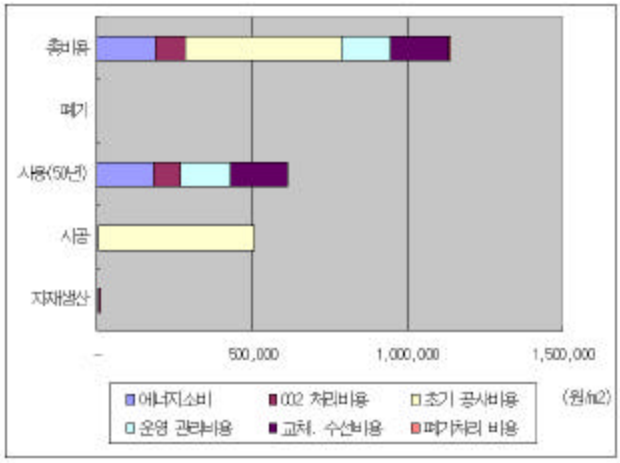

그림 1. 환경비용을 고려한 생애총비용의 항목별 비교

4. 환경비용을 고려한 경제성분석모델

국민주택규모의 공동주택을 대상으로 에너지절약시스템의 적용에 따른 에너지절약량과 투자비에 대한 단순비교 자료를 근거로 건축시스템의 경제성을 분석하고, 건설산업의 각 단계에서의 소비되는 에너지량과 CO_2 발생량 및 폐기물 발생량에 따른 환경비용을 고려한 경제성 분석모델을 제시하고자 한다.

4.1 사례연구를 위한 에너지절약방안 선정

경제성 분석을 위한 대상건물은 전형적인 30평대의 아파트로 돈암동에 최근 신축한 공동주택을 선정하였고, 에너지절약방안으로는 북측면 발코니부분에 12mm 복층유리와 50mm 암면으로 벽과 슬라브를 단열하였으며, 본 연구의 목적이 환경비용을 고려한 경제성 분석모델의 개발이라는 측면에서 실현가능한 절약방안으로 단순화하였다. 기존안 및 북측면의 발코니에 이중창 및 단열을 설치한 절감안을 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

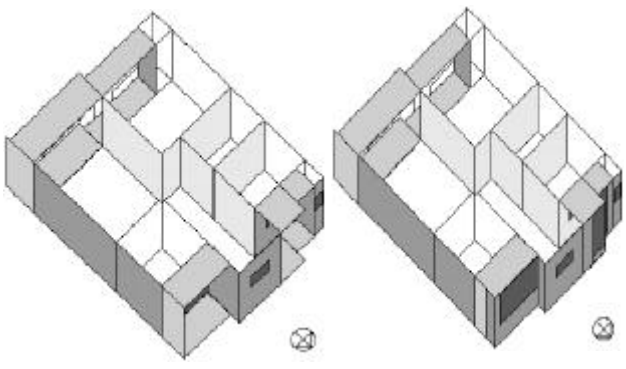

그림 2. 변경전·후 공동주택

DOE2를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 실행하여 기존 및 에너지절약방안에 대한 연간 난방 에너지소모량을 비교하여 연간 에너지절약량 및 절감액을 산출하였다.

4.2 분석기준 설정 및 항목비용

분석의 기간은 법정 내용연수 50년 중에서 20년으로 하였고, 비용항목은 환경비용(에너지 소비비용, CO_2 발생비용, 폐기 처리비용)과 초기공사비(2000년 물가자료를 이용한 에너지절약방안의 비용)로 구분하여 분석하였다. 경제성 분석을 위하여 물가상승률 및 이자율은 최근 10년 간의 평균치로 실질할인율을 계산하였고, 에너지가격은 과거 10년 간의 유가 상승률을 기준하여 결정하였다. 또한 추가공사비 항목중에서 에너지소비량을 산출할 수 있는 철근, 유리, 단열재[12]에 대하여 환경비용을 산출하였다.

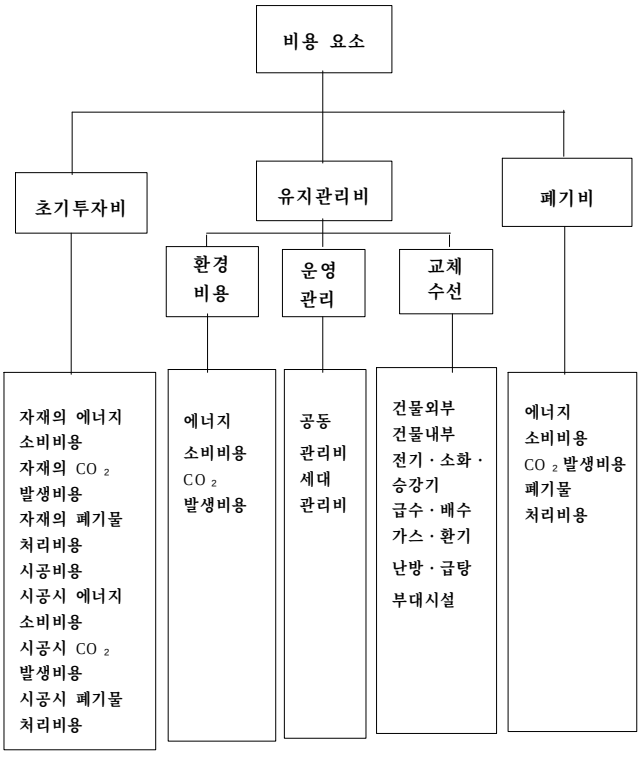

그림 3. 경제성분석 항목

1) 자재생산단계

자재생산단계에서는 환경비용인 에너지 소비비용, CO_2 발생비용만 고려하였고, 유리, 단열재 및 알루미늄샤시대신 철근에 대한 비용은 표 8과 같다.

표 8. 자재생산단계의 총비용(에너지절약안)

구 분	에너지 비용	CO_2 발생비용	생산비용(원)
철근	443	349	792
유리	19	17	36
단열재	21	13	34
총비용	483	379	862

12) Thomas Björund, Åsa jönsson and Anne-Marie Tillman, "LCA of Building Frame Structures", CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 1996, pp. 60-62

2) 시공단계 및 사용단계

시공단계에서는 초기공사비만을 고려하였고, 사용단계의 에너지절감에 따른 에너지 비용과 CO_2 발생비용은 연속정액으로 계산하였으며 시공 및 사용단계의 비용은 표 9와 같다.

표 9. 시공 및 사용단계의 총비용(에너지절약안)

구 분	에너지 비용	CO_2 발생비용	초기 공사비	총비용(원)
시공	-	-	1,608,792	1,608,792
사용	- 2,160,897	- 402,028	-	- 2,562,925
비용	- 2,160,897	- 402,028	1,608,792	- 954,133

3) 폐기단계

폐기단계는 에너지 소비비용, CO_2 발생비용, 폐기물 처리비용으로 나눌 수 있으며, 건물의 수명이 끝나는 시점에서 집중정액으로 계산하였으며 비용은 표 10과 같다.

표 10. 폐기단계의 총비용(에너지절약안)

구 분	에너지 비용	CO_2 발생비용	폐기물 처리비용	폐기비용 (원)
철근	75.2	26.0	460.4	561.6
유리	38.8	13.8	458.1	510.7
단열재	7.6	2.7	90.2	100.5
총비용	121.7	42.3	1,008.8	1,172.8

4) 전생애단계의 항목별 비용

에너지절약안에 대하여 환경비용을 고려한 전생애단계의 비용은 환경비용, 초기공사비 및 폐기처리비용으로 나눌 수 있고, 경제성 분석기간을 20년으로 가정할 때 자재생산단계에서는 철근 유리 및 단열재가 각각 91.8%, 4.2%, 4.0%를 차지했으며, 사용단계에서는 환경비용인 에너지 소비비용, CO_2 발생비용 및 폐기처리비용이 각각 84.3%, 15.7%, 0%를 나타냈다.

4.3 기존 및 절약방안의 경제성 분석결과

1) 경제성 평가모델

에너지절약방안에 대한 경제성분석의 평가항목으로 NPV(순현가가치), IRR(내부수익율), 그리고 B/C Ratio (편익/비용 비율)를 사용하였다. 에너지절약방안의 내구연안을 20년으로 가정할 때 실질할인율을 4.13%, 물가상승율과 유사한 최근 10년간의 도시가스비 상승률을 고려한 경제성 평가모델은 그림 3과 같다. 즉, IRR이 0 또는 B/C Ratio가 1이상이 된 2013년(13년)부터는 북측발코니 부분에 이중창 및 단열을 한 경우에 경제적인 타당성이 있는 것을 알 수 있었다.

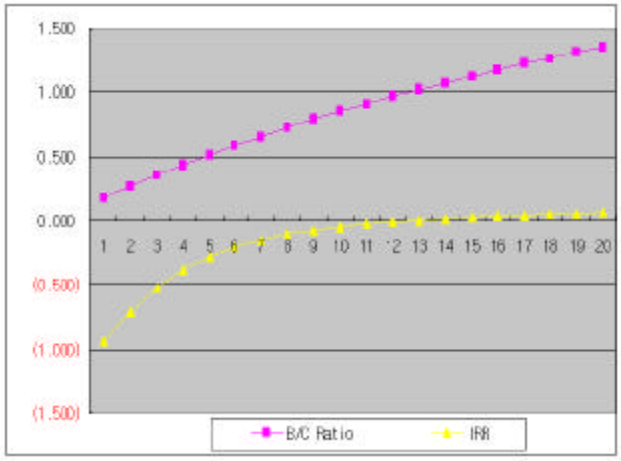

그림 4. B/C Ratio 및 IRR

2) 민감도 분석[13)]

본 분석에 있어서 중요변수들은 추가건축비, 에너지절감액, 및 실질할인율을 대상으로 B/C Ratio에 대한 민감도분석을 시행하였다. 즉 중요변수들의 값을 원래 값에서 -20%에서 +20%로 변화시켰을 때의 B/C Ratio의 변화율을 실제값과 백분율(%)로 분석하였다. 본 민감도 분석은 에너지절약안 모델을 이용하여 수행하였고, 그 분석결과는 표 11과 그림 5와 같다.

표 11. 주요변수의 변화도에 따른 B/C Ratio의 민감도

항 목	B/C Ratio의 민감도(%)				
	-20%	-10%	0%	+10%	+20%
추가건축비	22.7%	9.0%	0.0%	-10.8%	-18.2%
에너지절감액	-21.5%	-11.7%	0.0%	7.9%	17.7%
실질할인율	5.1%	1.5%	0.0%	-5.1%	-8.2%

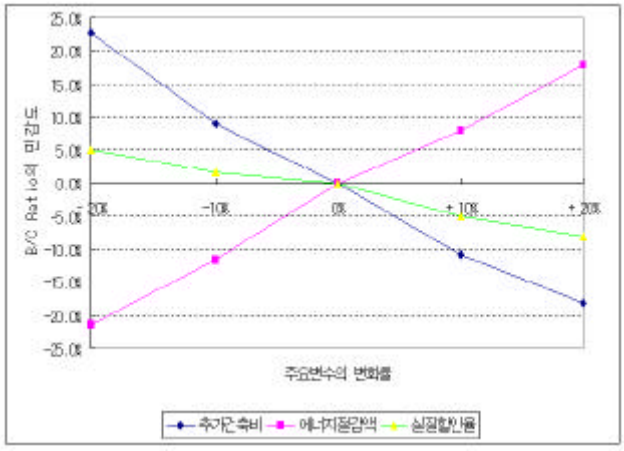

그림 5. 주요변수의 변화율에 따른 B/C Ratio의 민감도

13) 이언구외 6인, "대우전자 전자연구소 건립사업 추진계획에 대한 연구", 중앙대학교 생산공학연구소, 1998, pp. 47 50

위에서 분석되었듯이 주요변수의 변화율이 -20%에서 +20%일 때 B/C Ratio에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 추가건축비(22.7% -18.2%), 에너지절감액(-21.5% 17.7%), 실질할인율(5.1% -8.2%) 순 이었으며, 에너지절감액을 제외한 추가건축비 및 실질할인율은 부(-)의 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

건설산업은 자재생산, 시공, 사용 및 폐기단계에서 에너지를 투입하고 각종 유해물질을 방출하는데 이러한 투입된 에너지와 배출된 유해물질을 정량화하는 것이 환경부하평가이다. 본 연구는 환경부하를 고려한 건축시스템의 경제성분석을 위하여 경제성분석의 일반적인 이론과 방법을 정리하고, 공동주택의 주요자재인 레미콘, 철근, 시멘트벽돌, 시멘트 및 유리에 대하여 건설산업의 각 단계에서의 소비되는 에너지량과 CO_2 발생량에 따른 환경비용을 고려한 생애총비용의 모델링을 제시하였다. 또한 적용가능한 절감방안을 선정하여 열성능 시뮬레이션 및 자재의 환경비용을 고려한 경제성분석 기법을 통해 경제적 효용성을 알아보았다. 컴퓨터시뮬레이션 및 에너지절감안에 대한 전생애단계의 경제성분석 결과는 다음과 같다.

1) 환경비용을 고려한 생애총비용의 모델에서 대부분의 환경비용은 사용단계에서 발생했기 때문에 에너지절약형 건축시스템의 적극적인 적용이 필요하다.
2) 공동주택의 주요자재인 레미콘, 철근, 시멘트벽돌, 시멘트 및 유리에 대하여 건설산업의 각 단계에서 환경비용인 에너지 소비비용, CO_2 발생비용 및 폐기처리비용이 각각 66%, 34%, 1%를 보였고, 주요자재별 환경비용은 레미콘, 시멘트가 각각 50%, 28%를 차지했다.
3) 에너지절약안에 대하여 환경비용인 에너지 소비비용, CO_2 발생비용 및 폐기처리비용은 각각 84.3%, 15.7%, 0%로 나타났으며, 경제성 분석기간을 20년으로 가정할 때 철근 유리 및 단열재가 각각 91.8%, 4.2%, 4.0%를 차지했다.
4) 사례공동주택의 내구연안을 20년, 실질할인율을 4.13%, 그리고 유가상승율을 물가상승율로 가정할 때, 내부 수익율이 0 또는 B/C Ratio가 1이상이 되는 2013년(13년)부터 에너지절감안의 경제적 효용성을 확인할 수 있었다.
5) B/C Ratio에 대한 민감도 분석을 한 결과 가장 큰 영향을 미치는 요소는 추가건축비, 에너지절감액이었고, 에너지절감액을 제외한 추가건축비 및 실질할인율은 부(-)의 영향을 미쳤다.

이상의 연구결과는 환경비용을 고려한 경제성분석 모델의 개발을 위한 초기자료를 이용한 것으로 에너지절약

방안의 종합적인 경제적 효용성 및 경제성분석을 위해서 다음과 같은 추후의 연구가 필요하다.

1) 자재생산, 시공, 사용유지 및 폐기단계의 에너지소비량과 CO_2 발생량에 대한 신뢰도 높은 자료가 되기 위해서는 현장조사에 의한 꾸준한 데이터베이스의 보완이 필요하고, 레미콘, 철근, 시멘트벽돌, 시멘트 및 유리이외의 자재에 대한 추가조사가 필요하다.
2) 기존 공동주택에 적용가능한 다양한 에너지절약형 건축시스템의 시뮬레이션 및 민감도 분석이 요구된다.
3) 각각의 변수에 대하여 열성능 시뮬레이션 도구인 DOE2를 사용할 경우, 입력 및 사용상의 어려움 때문에 에너지절감방안에 대하여 회귀방정식 등으로 단순해석이 가능하게 하여야 한다.

참고문헌

1. 이명호 외, "자연형 태양열 시스템을 이용한 기존 공동주택의 에너지 개수방안에 관한 연구", 동력자원부 보고서, 1991. 2
2. 이언구외 6인, "대우전자 전자연구소 건립계획에 대한 연구", 중앙대학교 생산공학연구소, 1998
3. 조균형, "건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용산정에 관한 연구", 한국과학재단 특정기초연구 제2차 중간보고서, 2000.5
4. 김동현, "철골 및 철근콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프사이클코스트 분석에 관한 연구", 중앙대 건축설계학과 석사학위논문, 1999
5. 송국섭 외, "그린빌딩의 에너지 소모량 평가 및 환경 성능 분석", 부천대학 산업기술연구소 보고서, 1998.5
6. 함효준, *경제성공학*, 동현출판사, 서울, 1998.
7. 이상용, *경제성공학*, 영설출판사, 서울, 1993.
8. 조성욱, " 환경원가회계에 관한 연구 : 전과정 평가와 지속가능성을 중심으로", 서울대 경영학과 석사학위논문, 1998
9. 곽명석, "우리나라 공동주택의 라이프 싸이클 코스트 모델에 관한 연구", 서울대 석사학위논문, 1991
10. 김무한 외, "건설산업 폐기물의 리싸이클링 시스템 및 재활용 기술개발에 관한 연구", 건설교통부, 1997
11. 대한건축사협회, *에너지 절약형 건축설계 핸드북(5. 공동주택)*, 1996.
12. 대한주택공사, "건설폐기물의 처리 및 재활용방안 연구(1)", 1997. 210. 박상동 외, " 초에너지 절약형 건물기술개발 및 시범화사업 ", 한국건축설비학회, 1998.4.
13. 정헌철외 3인, " 시뮬레이션에 의한 고단열 경량외피시스템의 에너지절약효과 평가에 관한 연구 ", 건축학회 논문집 17권 2호, 1997
14. 환경부, "건설폐재 배출사업자의 재활용지침", 환경부 · 건설교통부 고시, 1994, 1999
15. YONG-SU KIM and GöRAN RUNESON, "The Theory and Practice of Investment Evaluation", School of Building University of New South Wales, 1995
16. Barbara C. Lippiatt, "BEES 2.0", NIST, 2000
17. Eley Associates, "VisualDOE 2.5 Program Documentation", 1996
18. IVOR H. SEELEY, *BUILDING ECONOMICS*, MACMILLAN, 1972
19. Margreet van Brummelen, Barend van Engelenburg and Evert Nieuwlaar, "Methodology for the Life-Cycle Assessment of Energy Technologies", NOVEN, 1994
20. Thomas Björund, Åsa jönsson and Anne-Marie Tillman, "LCA of Building Frame Structures", CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 1996
21. Courtland A. Collier & Charles R. Glagola, *ENGINEERING ECONOMIC AND COST ANALYSIS*, ADDISION-WESLEY, 1988