환경비용과 생애주기를 고려한 건물에너지의 경제성 분석방법에 관한 연구

A Study on the Economic Analysis Method of Building Energy Considering Environmental Costs and Life Cycle

○ 이 홍 석*, 이 관 호**, 이 언 구***
Lee, Hong Suk Lee, Gwan Ho 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. The economic efficiency of applicable building energy saving measures was analyzed through the computer simulation of energy saving alternatives and the examination of total life cycle cost considering environmental costs.

If the life of a sample apartment building(ALT 2) 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 9 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

건축에 있어서 지속가능한 개발중에서도 가장 중요한 것은 건물의 에너지 소비를 최소화함으로써 자원을 절약하고 생태계와 지구환경을 보전하는 에너지절약형 건축이다. 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. 또한 일반적으로 우리나라에서 연구 개발된 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 단순비교 경제성을 파악한 뒤, 이를 근거로 전생애단계에서 적용가능한 다양한 경제성 분석방법을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

1) 각종 참고문헌과 관련자료를 정리하여 경제성분석의

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

이론과 방법을 고찰한다.
2) 전과정평가기법을 이용하여 건설산업의 각 단계에서의 소비되는 에너지량과 CO_2 발생량 및 폐기물 발생량을 조사하여 각 단계 및 인자들의 상관성을 분석한다.
3) 사례공동주택에 적용가능한 에너지절감방안을 선정하여 컴퓨터 시뮬레이션 및 환경비용을 고려한 전생애비용의 검토를 통하여 건물에너지 절감방안의 경제성 분석도구를 제시한다.

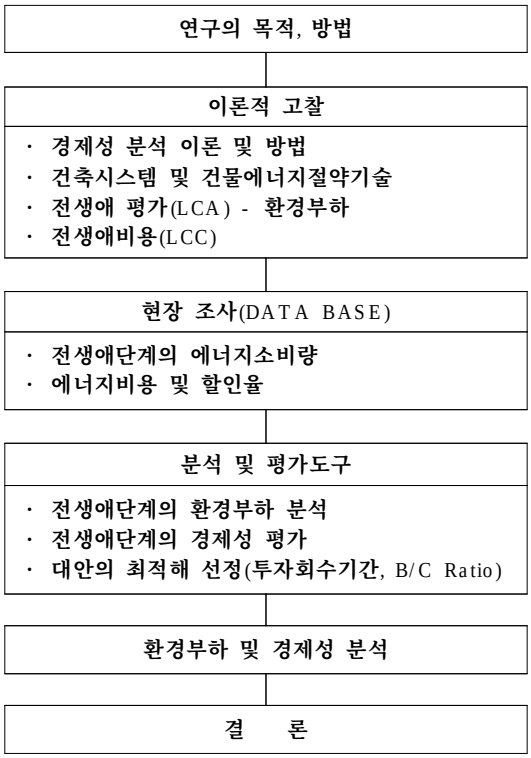

그림 1 연구의 흐름도

2. 이론적 고찰

2.1 경제성 분석

경제성 분석이란 기본적으로 많은 대안이 시간의 경과에 따라 어떠한 경제적 영향을 만들어 내는가를 조사해 이것들을 평가하는 것으로 경제성의 판단기준[1]은 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

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.

2.2 환경비용

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 단위소비를 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)[3]

2.3 전생애비용

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.
1) 초기 공사비 - 현가
2) 유지관리비 - 장기 수선 외 - 연속 정액형
장기 수선비 - 현재가치 등가환산
3) 폐기비용 - 집중정액형

3. 현장조사 및 시뮬레이션

경제성 분석을 위한 대상건물은 전형적인 30평대의 아파트로 돈암동에 최근 신축한 공동주택을 선정하였고, 현장조사를 통하여 수집한 년간 난방에너지소비량과 VISUAL-DOE를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 실행하여 각각의 방안에 대한 연간 난방 에너지소모량을 비교하였다. 에너지절약방안으로는 북측면과 남측면 발코니부분에 12mm 복층유리와 50mm 암면으로 벽과 슬라브단열을 선택하여 표 1과 같이 ALT1, ALT2, ALT3으로 나누어 시뮬레이션 하였다.

---

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

2) Ibid., pp.107 108

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

표 1 에너지절감 방안

구 분	북측면	남측면
ALT1	이중샤시	×
ALT2	이중샤시	이중샤시
ALT3	이중샤시	이중샤시, 확장

4. 환경비용을 고려한 경제성분석모델

4.1 난방시스템에 따른 경제성평가

본 연구에서는 경제성분석을 위한 한 방법으로 건축물에서의 난방시스템별의 초기공사비를 분석하여 그에 따른 경제성 평가를 하였다. 온수온돌 시스템, 팬코일 유닛 시스템, 공기덕트 난방방식의 난방방식의 건축물에 대하여 사용기간 20년을 기준으로 하였을 때를 기준으로 하였다.

다음 표2는 난방시스템별 에너지비용의 한도로써 다음과 같은 비용이상이 연간에너지가 소비되는 경우 경제성이 없다고 볼 수 있다.

표 2 난방시스템별 에너지비용의 한도

대 안	년간 에너지 비용
온수온돌	536,624
팬코일 유닛	573,167
공기덕트	343,739

4.2 공동주택의 에너지 절약방법에 따른 경제성 평가

1). 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[4] 및 시멘트에 대하여 환경비용을 산출하였다.

2) 전생애단계의 항목별 비용

에너지절약안에 대하여 환경비용을 고려한 전생애단계의 비용은 환경비용, 초기공사비 및 폐기처리비용으로 나눌 수 있고, 경제성 분석기간을 20년으로 가정할 때 각 대안들의 비용은 표 3과 같다.

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

표 3 전생애단계의 항목별 비용

구분	생산	시공	사용 (20년)	폐기	총비용
ALT1	4,603	998,903	10,543,610	3,895	11,551,012
ALT2	14,209	2,989,424	9,380,851	12,198	12,396,682
ALT3	16,026	2,728,345	10,925,350	9,637	13,679,359

ALT2에 대하여 자재생산단계에서는 환경비용인 에너지 소비비용, CO_2 발생비용이 각각 53.3%, 46.7%를 차지했으며, 사용단계에서는 환경비용인 에너지 소비비용, CO_2 발생비용이 각각 82.3%, 17.7%를 나타냈다.

3) 기존 및 절약방안의 경제성 분석결과

에너지절약방안에 대한 경제성분석의 평가항목으로 NPV, IRR, 그리고 B/C Ratio, LCEC를 사용하였다. 에너지절약방안의 내구연안을 20년으로 가정할 때 실질할인율을 4.13%, 물가상승율과 유사한 최근 10년간의 도시가스비 상승률을 고려할 때 대안들간의 투자회수기간은 표 4와 그림2와 같다.

표 4 대안들간의 투자회수기간

구 분	투자회수기간(년)		
	단순비교	현가(할인율)	LCC+환경부하
ALT1	4.57	5,17	3.85
ALT2	9.39	12.15	8.71
ALT3	14.73	23.28	15.54

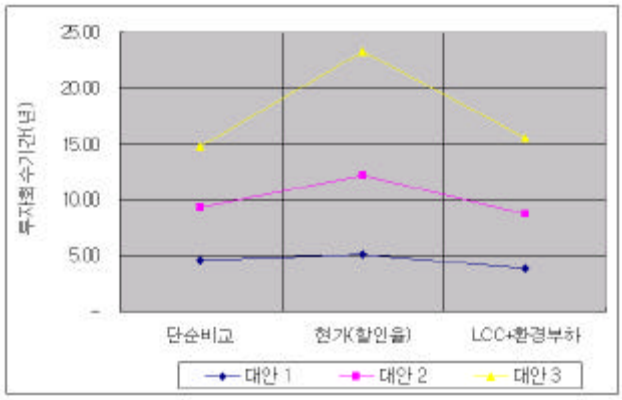

그림 2 대안들간의 투자회수기간

4) 민감도 분석[5]

민감도 분석을 위한 중요변수들은 추가건축비, 에너지절감액, CO_2 발생비 및 실질할인율을 대상으로 B/C Ratio에 대한 민감도분석을 시행하였다. 즉 중요변수들의 값을 원래 값에서 -20%에서 +20%로 변화시켰을 때의 B/C Ratio의 변화율을 백분율(%)로 분석하였다. 본 민감도분석은 에너지절약안 ALT2를 이용하여 수행하였고, 그 분석결과는 표 5 및 그림 3과 같다.

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

표 5 주요변수의 변화도에 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	-15.3%	-7.6%	0.0%	7.6%	15.3%
CO2 발생비	-4.7%	-2.4%	0.0%	2.3%	4.7%
실질할인율	7.7%	3.8%	0.0%	-3.6%	-6.9%

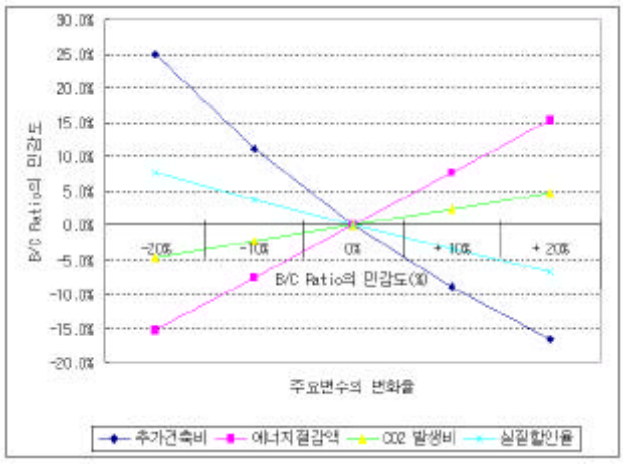

그림 3. 주요변수의 변화율에 따른 B/C Ratio의 민감도

위에서 분석되었듯이 주요변수의 변화율이 -20%에서 +20%일 때 B/C Ratio에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 추가건축비(25.0% -16.7%), 에너지절감액(-15.3% 15.3%), 실질할인율(7.7% -6.9%), CO_2발생비(-4.7% 4.7%) 순 이었으며, 추가 건축비 및 실질할인율의 변수가 부(-)의 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 환경부하를 고려한 건축시스템의 경제성분석을 위하여 경제성분석의 일반적인 이론과 방법을 정리하고, 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) 건축물에서의 난방시스템별의 초기공사비를 분석하여 시스템별 에너지비용의 한도를 규정할 수 있었다.

3) 환경비용 및 할인율을 고려한 것이 단순비용을 이용한 투자회수 기간과 유사함을 알 수 있었다.

4) 사례공동주택의 내구연안을 20년, 실질할인율을 4.13%, 그리고 유가상승율을 물가상승율로 가정할 때, 각 대안에 대하여 내부 수익율이 0 또는 B/C Ratio가 1이상이 되는 투지회수기간을 알 수 있었다.

5) B/C Ratio에 대한 민감도 분석을 한 결과 가장 큰 영향을 미치는 요소는 추가건축비, 에너지절감액 순이었고, 추가건축비 및 실질할인율은 부(-)의 영향을 미쳤다.

이상의 연구결과는 환경비용을 고려한 경제성분석 모델의 개발을 위한 초기 연구로써 에너지절약방안의 종합적인 경제적 효용성 및 경제성분석을 위해서 현장조사에 의한 꾸준한 데이터베이스의 보완이 필요하고, 레미콘, 철근, 시멘트벽돌, 시멘트 및 유리이외의 자재에 대한 추가조사가 필요하다.

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. 대한건축사협회, *에너지 절약형 건축설계 핸드북*(5. *공동주택*), 1996.
9. Margreet van Brummelen, Barend van Engelenburg and Evert Nieuwlaar, "Methodology for the Life-Cycle Assessment of Energy Technologies", NOVEN, 1994
10. YONG-SU KIM and GöRAN RUNESON, "The Theory and Practice of Investment Evaluation", School of Building University of New South Wales, 1995
11. Eley Associates, "VisualDOE 2.5 Program Documentation", 1996
12. Thomas Björund, Åsa jönsson and Anne-Marie Tillman, "LCA of Building Frame Structures", CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 1996
13. Courtland A. Collier & Charles R. Glagola, *ENGINEERING ECONOMIC AND COST ANALYSIS*, ADDISION-WESLEY, 1998