

## 친환경 건축물의 LCA 평가도구 비교분석 연구

손우진\*, 강혜진\*\*, 이언구\*\*\*

\*중앙대학교 대학원 건축학과(son0144@nate.com),  
\*\*중앙대학교 대학원 건축학과(haejinkang@wm.cau.ac.kr),  
\*\*\*중앙대학교 건축학과(ekrhee@cau.ac.kr)

### A Study on the Analysis of LCA tools for Eco-Building

Son, Woo Jin\*, Kang, Hae Jin\*\*, Rhee, Eon-Ku\*\*\*

\*Dept. of Architecture, Graduate School, Chung-Ang University(son0144@nate.com),  
\*\*Dept. of Architecture, Graduate School, Chung-Ang University(haejinkang@wm.cau.ac.kr),  
\*\*\*Dept. of Architecture, Chung-Ang University(ekrhee@cau.ac.kr)

#### Abstract

Since some decades ago, there has been a concern for resource depletion and environmental pollution associated with building properties. In addressing such impact of the built environment, there is a recognition of the existence of alternative building materials, fuels for energy supply as well as technologies for waste handling and disposal. Nevertheless, for long time, the choice between such alternatives was dictated by factors such as differences in prices and aesthetic values. A new important dimension in discriminating between different options is the environmental dimension. This aspect is important since buildings are one of the spatially big new additions to the natural environment that consume a lot of materials and energy during their long lifetime. Thus, with the environmental dimension kept in mind, a existing cost estimation needs to be changed. A new cost assessment method, Life Cycle Cost, should calculate overall costs with dimensional factors: investment and utility costs as well as maintenance costs over the lifetime of the building.

Aiming to give an overview of the present status of Building Life Cycle Assessment(LCA) tools as a basis for further research and development including economic performance, this paper describes and compares 3 different tools for Life Cycle Assessment(LCA) and economic analysis of the green buildings. This paper compared these approaches based on various aspects. These include : economic analysis method, evaluation duration, data of results(index). Use of the comparison analysis is to produce a better picture and indicate profits and shortcomings for the tools as a group; thus providing important direction improvement of LCA tool as well as further research and development of this group of tools.

Keywords : LCA Tool(Life Cycle Assessment Tool), 경제성평가(Life Cycle Cost Analysis), 컴퓨터 프로그램(Computer program), 지표(Index), 가중치(Weighting)

## 1. 서 론

최근 지구온난화 및 기타 환경파괴가 심각해지면서 환경영향을 감소시키기 위하여 건축자재의 신중한 선택의 필요성이 계속해서 증가하고 있다. 그러나 여전히 실질적인 선택에 있어서 설계자의 최종의사결정에 지대한 영향을 미치는 것은 경제성인 경우가 많다. 왜냐하면 그 중요성에도 불구하고 건물의 자재선택에 따른 환경적 영향의 결과가 빠르게 나타나지 않고, 각 개인의 책임의 범위가 불분명하기 때문에 직접적으로 문제를 발생시키는 경제성을 더 민감하게 받아들이게 되는 것이다. 환경성능에 따라 친환경자재를 선택했다가도 경제성이 없다는 이유로 최종결정이 변경되는 경우가 이러한 이유 때문에 생긴다. 따라서 LCA tool이 실질적인 의사결정을 돋기 위해서는 환경성과 경제성 결과가 함께 제공되는 것이 필요하다. 또한, 경제성 평가에 있어서는 초기투자비용 뿐 아니라 운영단계 및 폐기처리단계 등에 대한 전생애 경제성 평가가 이루어 질 필요가 있다. 이는 건물의 전생애 관점에서 봤을 때, 초기추가비용은 운영비용에서 상쇄될 수 있을 뿐만 아니라 더 높은 경제성을 가질 수 있음에도 불구하고, 초기투자비용만을 고려함으로서 친환경자재가 저평가 될 수 있는 오류를 감소시키기 위해서이다. 따라서 환경적으로 신뢰할 수 있는 합리적인 평가방법론이 표준화와 함께, 전생애 경제성 평가가 함께 제공되는 평가도구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 국제적으로 활용되고 있는 가장 대표적인 LCA 도구 중에서 경제성 평가를 동시에 실시하고 있는 도구를 선택하여 경제성 분석 방법을 중심으로 비교분석을 실시함으로서 우리나라의 실정에 적용 가능한 합리적인 LCA 도구 개발의 기초자료를 확보하고자 한다.

## 2. LCA 도구의 특성

### 2.1 BEES (The Building Environmental and Economic Sustainability)

BEES4.0은 건축자재의 환경성능을 평가하는 LCA tool이다. BEES4.0은 채취, 제조, 운송, 설치, 사용 및 재활용/폐기에 해당하는 제품의 전생애를 분석하며, 분석한 결과는 10가지의 환경영향으로 분류된다. 또한, 전생애비용평가(Life Cycle Cost, LCC)를 이용하여 경제성도 함께 평가하고 있다. 평가는 초기투자비용, 교체비용, 운영비용, 관리 및 수리, 폐기비용을 포함하며, 고정기간동안에 발생한 비용을 합산하여 보여준다. 다음은 그림1은 LCA평가 체계를 나타내는 그림이다.

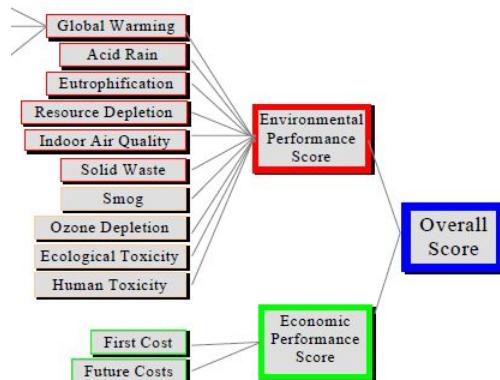


Figure C4. BEES Approach to LCA

그림 1. BEES LCA 평가체계

BEES는 전체적인 성능평가를 위하여 경제성을 환경적 영향을 함께 고려하고 있으며, 다중 의사결정 분석방식(multi-attribute decision analysis)을 사용하고 있다. 또한, 사용자의 상대적 가치기준을 기초로 하거나, 프로그램에서 제공하고 있는 초기값을 기초로 하여 환경성, 경제성을 합산하는 가중치 다중설정방식을 채택하고 있다.

## 2.2 GreenCal

GreenCal은 네덜란드의 NIBE(The Netherlands Institute for Building Biology and Ecology)에서 만들었다. 본 평가도구는 4개의 모듈로 나누어져 있으며, 각 모듈은 재료, 에너지, 수자원 및 교통에 대해서 다룬다. 각 모듈의 특성은 아래와 같다.

재료모듈(Material Module) : 재료 및 재료의 양을 선택하고, 평가할 기준을 선택

에너지모듈(Energy Module) : 건물의 운영단계에서의 에너지 사용에 대한 평가(난방, 냉방, 환기 및 조명에서 사용하는 에너지)

수자원의 사용(Water usage) : 건물의 운영단계에서 사용하는 물소비 (설비, 위생설비, 우수집수 정도 등)

교통(Mobility) : 직장에서 집까지의 접근성(위치, 대중교통이용 여부 등)

각 모듈의 특성에 따라 평가방법 및 기간을 달리하고 있는데, 건축자재의 경우는 공사단계와 유지관리단계, 에너지 및 수자원은 운영단계 등이 그 예이다. 특히 재료의 경우, 자재의 종류 및 양에 따른 환경영향 평가 외에도 단열성능을 함께 평가하고 있는 것도 평가특징이다. 평가결과는 환경비용이라는 지표로 합산되어 출력하고 있다. 이때 환경비용은 원단위로 계산하며, 1-2000 점 사이로 계산된다. 1990년에 지어진 표준 건물의 환경성을 100점이라고 했을 때, 2050년에 지어지는 건물을 최상성능으로 설정하고 있으며, 그에 따른 최고점수는 2000점을 받게 된다. 평가항목은 재료(기초, 외피, 마감재, 설비, 가구 및 대지)사용에 따른 환경비용 및 에너지사용(난방, 냉방, 급탕, 조명, 기타 시스템)에 의한 환경비용, 수자원 사용에 의한 환경비용, 자동차 사용에 의한 환경비용으로 환산되어 최종 합산된다.

## 2.3 EcoEffect

EcoEffect는 스웨덴의 University of Gävle에서 만든 것으로서 기존의 LCA 평가도구인 BEAT를 발전시킨 것이다. EcoEffect는 5개의 하위 평가범위로 구성되어 있으며, 평가범위는 에너지의 사용, 재료의 사용, 실내환경, 실외환경, 전생애 경제성 평가이다. 각 하위카테고리는 각 특성에 따라 서로 다른 평가방법을 사용하고 있다. 아래 그림 2는 EcoEffect의 평가체계이다.

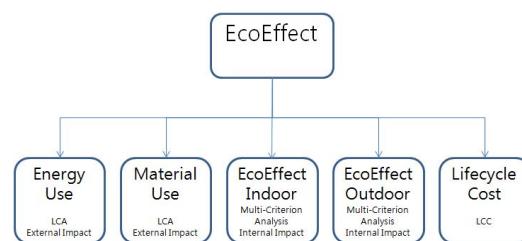


그림 2. EcoEffect LCA 평가체계

본 평가도구는 대지에서 발생하는 환경영향을 포함하고 있다. 즉, 건물 뿐 아니라 주변대지를 평가의 물리적 대상으로 보고 있는데, 이에 따른 평가결과는 외부적 영향과 내부적 영향으로 나눠진다. 5개의 하위 카테고리 중에서 첫번째 2개항목은 에너지와 재료이며, 외부적 영향에 포함된다. 내부적 영향은 대지 및 건물에서 사람에게 직접 미치는 영향인데, 대지 및 건물에서 발생하는 환경조건에 의해 체적/건강 조건에 직접적으로 미치는 영향을 의미한다. 평가기간은 에너지와 재료의 경우, 건물 및 대지에서 공사 및 관리단계가 중심이며, 실외/실내 환경의 경우, 관리단계가 중심이다. 마지막 카테고리인 전생애 경제성평가는 환경관련 비용을 반영하는 평가방법을 사용하며, 일반적인 전생애 경제성 평가보다 좀 더 포괄적인 범위를 다루고 있는데 장기적 관점에서 환경적 영향을 미치는 간접비용을 포함한다.

### 3. LCA tool의 비교분석

#### 3.1 경제성 평가방법

일반적으로 친환경 자재를 선택할 경우에, 초기투자비용이 증가하게 되는 경향이 있다. 이러한 비용의 상승은 설계자가 친환경 자재 선택에 대한 부담요인으로 작용할 수 있을 뿐 아니라 심지어는 친환경 자재의 선택을 포기하게 하는 직접적 원인이 되기도 한다. 그러나 친환경 자재의 경우, 친환경자재의 선택에 따른 초기투자비용의 증가는 운영단계 및 폐기단계에서의 환경비용의 감소로 인해 상쇄될 수 있는 가능성이 높기 때문에 전 생애 경제성 평가(LCC) 관점에서 봤을 때에는 보다 높은 경제성결과를 기대할 수 있다. 또한, 경제적 이익에 대한 평가결과의 정확성 또한 향상된다.

본 연구에서 선택한 LCA 평가도구는 모두 전생애 경제성 평가방법을 기초로 하고 있다. BEES는 ASTM (American Society for Testing and Materials)에서 제시한 전생애 경제성 평가방법(Life Cycle Cost Method)을 사용하고 있으며, 이는 초기투자비용, 교체비용, 운영비용, 관리비용 및 폐기비용을 포함한다. GreenCal의 경우는 전생애 경제성 평가 방법을 기초로 하고 있지만 전생애 동안에 발생하는 CO<sub>2</sub>량에 따른 환경비용을 기초로 하기 때문에, 각 단계에서 발생하는 CO<sub>2</sub>량을 계산하고 이를 환경비용으로 환산한 후에 합산하는 형태로 비용이 책정된다. 따라서 자재 자체의 시장가격은 반영되지 못하며, 설계자가 직접적으로 얻을 수 있는 경제적 이익에 대한 평가는 제공하기 어려운 단점이 있다. EcoEffect 또한, 전생애 경제성 평가방법을 사용하고 있으며, 도시 및 지역 사회에서 발생하는 간접비용까지도 폭넓게 다루고 있는 것이 특징이다. 여기서 간접비용은 환경성능 증진에 따른 건강 증진 및 지역사회 활성화에 의한 경제적 이익 등을 의미한다.

#### 3.2 운영비용의 평가

전생애 경제성 평가(LCC)에 있어서 초기투자비용 및 운영비용은 경제성에 주요하게 영향을 미치는 요소이다. 특히, 운영비용은 건물의 운영단계에서 발생하는 에너지비용이 대부분으로서 자재의 선택이나 건물의 디자인에 따라 달라진다. 따라서 자재선택에 따른 전생애 경제성 평가를 실시할 때에는 건물의 열성능 변화에 따른 운영비용의 증감을 파악하는 것이 필수적이다. 다음 표 1은 각 평가도구의 운영비용 평가조건이며, 각 조건을 얼마나 정확하게 설정하느냐에 따라 경제성 평가의 정확성이 좌우된다.

표 1. 운영단계 평가조건

평가도구	에너지성능 평가 여부	건물 전체 디자인 여부	평가기간
BEES	O	X	50년
GreenCal	O	X	-
EcoEffect	O	X	-

분석결과, 모든 평가도구가 건물의 운영단계에서의 에너지성능을 평가하고 있는 것으로 나타났으나 건물 전체 디자인에 따른 실제적인 에너지성능 변화는 파악하지 못하기 때문에 설계자의 의사결정지원능력을 떨어뜨릴 것으로 판단된다. 특히 BEES의 경우, 단열재의 선택에 따른 건물의 열성능을 간략하게 평가하고, 운영비용 차이에 따른 결과를 보여주고 있지만 건물의 모양이나, 자재 적용 위치 등을 고려하지 않는 것으로 봤을 때, 개별적인 케이스에 대한 경제성 평가는 이뤄지지 않고 있으며, 실제 건물을 디자인 할 때 필요한 의사결정지원은 어려울 것으로 판단된다. GreenCal과 EcoEffect도 운영단계에서 에너지 사용량은 간략한 평가방법을 사용하는 것으로 나타났다. 이는 BEES보다 좀 더 정확한 평가를 하고는 있지만 마찬가지로 건축설계시 에너지성능을 고려한 자재선택은 제외된다.

### 3.3 종합지표의 설정

LCA tool에서 자재의 환경성 및 경제성을 동시에 평가할 때, 출력하는 방법으로서 종합지표를 사용한다. 각 성능(환경성 / 경제성)은 분리하여 출력할 수도 있지만, 환경성과 경제성은 서로 상관관계를 갖기 때문에 조합의 필요성이 있고, 종합지표로 최종 출력했을 때, 설계자들에게 제공하는 의사결정지원을 더욱 용이하게 하는 장점이 있다. 그러나 환경성과 경제성은 평가단위가 상이하게 다르고, 각 영역에 대한 중요도가 정성적 가치판단에 따라 달라지므로 종합지표로 출력한다는 것은 복잡한 알고리즘을 요구한다. 따라서 선택한 평가도구의 조합방법을 비교분석하고, 종합지표의 내용을 살펴보았다.

표 2. 종합지표 설정방법

평가도구	조합여부	조합방법	지표
BEES	O	다중의사 결정분석	전체점수 (Overall Score)
GreenCal	O	환경비용 으로 환산	환경비용 (Environmental Cost)
EcoEffect	개별출력	-	-

BEES의 경우에는 환경성 및 경제성을 한꺼번에 출력하기 위하여 ASTM(American Society for Testing and Materials)의 다중 의사결정 분석방식(multi-attribute decision analysis)을 사용하고 있는 것으로 나타났다. GreenCal의 경우에는 모든 환경성능을 환경비용으로 환산시켜 환경비용(Environmental Cost)으로 출력하고 있다. EcoEffect는 경제성 평가의 결과를 환경성능과 별개로 출력함으로서 사용자의 판단에 따라 결정하도록 하고 있다. 이는 조합단계에서 발생할 수 있는 가치판단의 오류는 막을 수 있지만 최종의사결정은 사용자가 해야 하는 어려움이 생길 수 있으며, 상대적으로 BEES와 GreenCal은 사용자의 의사결정을 용이하게 해준다.

## 4. 결 론

국내 적용가능하고, 실질적인 의사결정지원을 할 수 있는 LCA 평가도구 개발을 위하여 경제성 평가를 중심으로 기존의 LCA 평가도구를 비교분석하였다. 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 선택한 LCA 평가도구는 모두 전생애 경제성 평가(LCC)를 실시하여 평가결과를 제시하고 있다.
- (2) 전생애 경제성 평가(LCC)를 사용함에도 불구하고, 건물전체디자인변화에 따른 운영단계에서의 운영비용 감소를 구체적으로 평가하지 못하기 때문에 설계자에게 실질적인 의사결정지원을 제공하는 것은 어려울 것으로 판단된다. 따라서 건물의 열성능을 함께 평가할 수 있는 시뮬레이션이 연동되는 것이 필요하다.
- (3) 평가의 최종결과는 환경성과 경제성을 종합한 종합지표로 표시하고 있다. 이는 빠른 의사결정이 가능하게 하지만 조합에 필요한 가치판단 및 가중치 설정이 신중하게 이루어져야 할 것으로 사료된다.

LCA tool에서의 경제성 평가는 전생애 경제성 평가(Life Cycle Cost)를 하고, 특히 건물의 디자인에 따른 운영비용의 변화를 구체적으로 판단할 수 있도록 하는 것이 중요하다 하겠다. 또한, 평가결과 출력에 있어서 환경성과 경제성을 종합하여 출력하면 빠른 의사결정지원을 할 수 있지만 조합과정에서 가치판단 및 가중치의 설정에 따라 결과가 달라지는 것을 고려해야 한다.

## 후 기

이 연구는 국토해양부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B02)에 의해 수행되었습니다. 과제번호:06건설핵심B02

## 참 고 문 헌

1. Appu Haapio, Pertti Viitaniemi, A critical review of building environmental assessment tools, Environmental Impact Assessment Review, 28 (2008) 469–482
2. Anna Forsberg, Fredrik von Malmborg, Tool for environmental assessment of the built environment, Building and Environment 39 (2004) 223–228
3. Heera Lomit, Sridgar Kare, Impact of Construction Material on environment(Steel & Concrete), Master's Thesis, 2009, University of college of BORAS
4. Ulla Myhr, Property-level Environmental Assessment Tools for Outdoor Areas, Doctorial Thesis, 2008, Swedish University
5. Building LCA Tools description, Department of the Environment and Heritage
6. Life Cycle Assessment Tools to Measure Environmental Impacts : Assessing their applicability to the Home Building Industry, PATH(Partnership for Advancing Technology in Housing)
7. IEA ECBCS, COMPARATIVE APPLICATIONS(A Comparison of Different Tool Results on Similar Residential and Commercial Building, 2004, International Energy Agency