

친환경 건축 대안평가방식의 건축물 LCCO₂ 평가 프로그램

Life Cycle CO₂ Assessment System Based on
Eco-friendly Building Alternative Assessment



이 현 국*



금 원 석**



태 성 호***



신 성 우****

* GS건설(주) 기술연구소 선임연구원
** 한양대학교 건축환경공학과 석사과정
*** 한양대학교 건축학부 조교수
**** 한양대학교 건축학부 교수

1. 서론

최근 지구환경변화 문제의 원인으로 온실가스가 지목되고 있으며, 국제적인 저감 노력이 지속되고 있다. 우리나라의 경우 온실가스 배출 세계 9위로 OECD 국가 중 온실가스의 가장 빠른 증가율을 보이고 있어 온실가스 감축을 위한 노력이 요구되고 있다. 특히 배출량의 40% 이상으로 알려진 건설 산업이 주요 논점으로 자리 잡고 있으며, 정부는 저탄소 산업기조를 달성하기 위해 2025년 제로에너지 건축물 의무화, 건축물에너지효율등급인증제도, 친환경건축물 인증제도, 그린홈 인증제도 등의 관련 정책을 추진하고 있다. 하지만 온실가스 저감방안이 탄소저감형 요소기술 개발에 중점을 두고 있어 수명주기가 긴 건설 산업의 특성을 고려한 건축물 전 과정 평가(Life Cycle Assessment)를 움직임이 확대되고 있으며, 기존 평가기술은 단순 평가 방식에 그치고 있어 전 과정 평가를 통한 건축물 CO₂ 배출량 저감 도출에 부적합한 것이 사실이다. 또한 개발된 평가프로그램의 경우 건축물의 막대한 자재 물량입력 및 대안평가에 많은 시간이 소요되어 평가방법의 효율성 문제가 대두되고 있다.

이에 본 글에서는 건축물의 CO₂ 배출량 평가 효율성을

확보하며 친환경 대안기술을 적용하고 분석하기 위한 건축물 전 과정 CO₂ 평가프로그램(Carbon Expert)개발에 대하여 논의하고자 한다.

2. 시스템 개발요소 분석

2.1 개요

시스템 개발요소 분석에서는 종래 평가기술 분석을 통해 요소기술개발 방향을 설정하여, 웹 기반 평가기술, 물량자동 입력 기술, 대안평가 기술을 개발 범위로 구축 할 수 있었다.

2.2 평가기술 분석

건축물 전 과정 CO₂ 평가 기반기술을 개발하기 위해 기존 평가기술을 분석하고 요소기술을 도출하였다. 여기서 요소기술이란 평가 세부기술을 의미하며, 전 과정 평가기술의 지원기술이라 할 수 있다. 이를 위해 종래 건축물 전 과정 평가기술 및 프로그램을 개발 유형, 외부 분석도구와의 연계성, 건축물 평가범위, 대안평가의 범주로 표 1과 같이 분석하였다.

표 1 평가 프로그램 비교

명칭	개발기관	유형	연계성	평가 범위	대안 평가
SUSB-LCA	친환경건축 연구센터	어플	낮음	전과정	불가
K-LCA	한국건설기술 연구원	어플	낮음	전과정	불가
LOCAS	롯데건설 친환경건축 연구센터	웹	높음	전과정	불가
GEM-21P	시미즈건설	어플	낮음	전과정	일부 가능
Green Building Studio	Autodesk	웹	높음	운영 단계	가능

SUSB-LCA는 한양대학교 친환경건축연구센터에서 개발한 어플리케이션 기반의 평가프로그램이다. 건축물의 건설, 운영, 해체폐기의 전 과정 평가가 가능하며 평가DB의 신뢰성이 높으나, BIM 등의 외부 프로그램 및 분석도구와의 연계성이 낮은 것으로 분석된다. K-LCA는 한국건설기술연구원에서 개발한 프로그램으로서, 건설단계 건설공종별 입력 방식 및 운영단계 에너지성능지표를 적용하였으나, 물량입력단계에서 많은 시간이 소요되며, 추계모델식의 부재로 인한 에너지 사용량 평가에 한계점이 있는 것으로 분석된다. LOCAS는 롯데건설과 한양대학교 친환경건축연구센터가 공동개발한 프로그램으로서 건축물 유형별 및 간이, 상세, 현장평가로 세분화된 평가분석이 가능하나, 외부 프로그램과의 연계성이 제한되어 있고, 대안평가기능이 제공되지 않는 것으로 분석된다. GEM-21은 일본 시미즈 건설에서 개발한 Tree 구조방식의 평가프로그램으로서, 시미즈건설의 친환경 기술 DB를 활용한 대안기술적용이 가능하여 계획 초기단계부터 CO₂ 저감량 검토가 가능하다. 하지만 대안평가 대상이 표준건축물에 대한 상대적인 평가수준이며, 외부 프로그램과의 연계가 제한되어 있는 것으로 분석된다. Green Building Studio는 Autodesk사에서 개발한 웹기반 에너지 사용량 평가 프로그램으로 DOE-2.2 엔진을 활용하여 신뢰성 있는 운영단계 평가가 가능하며 프로젝트 관리 및 대안평가기술, gbXML을 활용한 BIM 연계기술이 적용되어 있다. 하지만 평가범위가 운영단계에 한정되어 있어 건축물 전 과정 평가가 어려우며 BIM 모델링 기반으로 구성되어 있어 평가방법이 제한되어 있는 것으로 분석된다.

2.3 프로그램 요소기술 도출

프로그램 요소기술 도출은 프로그램 개발 목표에 부합하

는 평가시스템을 구축하기 위한 평가 기반기술을 의미한다. 즉, 각 요소기술은 건축물 전 과정 평가기술의 세부 구현기술이며 건축물 전 생애의 단계별 CO₂ 평가 특성을 고려한 기술을 의미한다. 이를 위해 기술 분석을 실시하였으며, 요소기술은 웹 기반 평가기술, 물량자동입력, 대안평가로 도출하였다.

1) 웹 기반 평가기술

웹 기반 평가기술은 근래에 들어 확대되고 있는 개념으로서, 롯데건설의 LOCAS와 Autodesk사의 Green Building Studio 등에 적용된 기술이다. 기존 어플리케이션기반 평가 프로그램에 비해 운영체제로 대표되는 플랫폼 제약이 상대적으로 적으며, 웹 프로그래밍 언어를 사용하는 모바일 기기로의 확장도 손쉬운 것으로 알려져 있다. 또한 서버중심 운영에 따른 프로그램 관리 주체가 명확해 효과적인 시스템 운영이 가능하며, 관리의 일원화에 따른 최신 DB의 적용 및 평가DB의 검증에 유리해 유지관리의 지속가능화 및 평가결과의 신뢰성 확보에 유리한 것으로 나타났다. 따라서 본 요소기술은 기존 평가기술을 바탕으로 핵심가치와 전 과정 평가에 특화된 기술로 활용할 수 있을 것으로 분석된다.

2) 물량자동입력기술

물량자동입력기술은 기존 물량산출서 기반의 건설단계 평가를 진행하는 평가 프로그램의 문제점으로 지적된 평가의 효율성을 높이기 위한 기술이다. 즉, 물량산출서 기반 평가는 상세평가 진행 시 평가시간 대부분을 물량입력에 투입하며 평가효율이 낮을 뿐만 아니라, 물량내역과 CO₂ 원단위 매칭입력 정확성에 따라 평가결과의 신뢰성이 결정되는 문제점이 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 요소기술 적용을 통해 평가의 효율성과 신뢰성을 확보하는 한편, 최근 대두되고 있는 BIM 모델링 물량정보 출력포맷과의 호환성을 확보하여 범용기술로 활용할 수 있을 것으로 분석된다.

3) 대안평가기술

대안평가기술은 건축물 전 과정 CO₂ 평가기술을 활용하여 CO₂ 저감방안을 제시하기 위한 개념으로, 시미즈건설의 GEM-21P와 Autodesk사의 Green Building Studio에 적용된 기술이다. 즉, 대안 적용을 통해 CO₂ 저감 효과를 확인하고자 하는 기술이다. 기존 기술은 평가단계별 제한된 상황에서 대안평가에 특화되어 있어 평가자의 사용성 확보에 유리하지만, 건축물 전 과정 CO₂ 평가에 부적합하여 이에

대응하는 대안평가기술이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 본 요소기술 개발을 통해 평가결과의 신뢰성을 바탕으로 CO₂ 배출량의 저감 및 분석이 가능한 것으로 나타났으며, 전 과정 평가에 특화된 기술을 적용하여야 할 것으로 분석된다.

3. 요소기술 개발

3.1 개요

요소기술 개발은 웹 기반 평가기술, 물량자동입력기술, 대안평가기술의 개발로 이루어져 있으며, 각 요소기술은 건축물 전 과정 평가기술과 결합하여 평가시스템의 기반기술로서 구성되어 있다.

3.2 웹 기반 평가기술

웹 기반 프로그램은 다수의 사용자가 하나의 서버를 활용하는 구조로 구성되어 있으며, 기존 어플리케이션 기반 프로그램의 단점으로 지적되는 시스템 의존성을 낮출 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 사용자 시스템의 운영체제에 따른 운영 제약사항에 구애받지 않아 프로그램의 활용성을 높일 수 있으며, 프로그램 버전 및 DB 업데이트를 위해 사용자별 추가 작업이 필요하지 않고 평가 DB 변경 시점에 따른 평가결과 차이의 문제점을 해결할 수 있다. 웹 기반 프로그램은 시스템에 관계없는 웹 언어를 이용한 개발로 진행되며, 이를 통해 시스템 추종성을 극복하고 웹 기반 언어를 사용하는 모든 시스템 및 모바일 기기에서의 자유로운 활용으로 이어질 수 있다. 관리의 측면에서는 하나의 서버로 관리되어 업데이트 및 평가 DB 갱신이 손쉽게 이루어질 수 있으며, 모든 사용자의 프로젝트 및 평가 결과도출이 하나의 시스템에서 수행되고 저장되기 때문에 사용자 평가결과를 활용한 추세성 분석 및 DB로의 활용이 가능하다. 특히 분야별 Feedback이 손쉽게 이루어져 평

가방법의 정확성 및 평가결과의 신뢰성을 확보할 수 있으며, 이의 분석을 통한 프로젝트의 CO₂ 성능 개선 및 평가 DB의 보완이 이루어질 수 있다. 또한 사용자 스스로 프로젝트 및 대안템플릿을 통한 프로그램의 콘텐츠 생성에 참여할 수 있고 사용자간 정보 및 의견전달의 수단으로서 활용 할 수 있어, 대안평가에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

이를 위해 평가기술의 웹 프로그램 기술적용 뿐만 아니라, 프로젝트 관리기술을 구축 및 적용하여 체계적인 관리가 가능하도록 하였다. 그리고 외부 프로그램 산출 결과 및 분석도구와의 연계성을 확보하여 프로그램의 활용성을 높이고자 하였다. 이를 통해 평가를 위한 정보입력, 평가, 결과 분석, Feedback, CO₂ 평가 결과에 관련된 정보 흐름을 단일화하여 건축물 CO₂ 평가 HUB로서의 활용성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 물량자동입력 기술

물량자동입력기술은 물량산출서 입력중심의 건축물 전 과정 CO₂ 평가 프로그램의 단점으로 지적되는 긴 평가시간 및 평가입력의 어려움을 해결하여 평가의 효율화를 이루기 위한 핵심 기술이다. 기존 물량입력 방식은 건축물 전 과정 CO₂ 평가 중 자재생산단계의 상세평가를 위해 경우에 따라 오피스 6000가지, 공동주택 7000가지 이상의 자재를 평가자가 직접 입력해야 하며, 이로 인해 평가를 위한 물량입력에 수 시간에서 수일이 소요되는 것으로 알려져 있다. 이는 전체 평가 및 분석시간의 90%이상을 차지하며 직접입력에 따른 정확성 확보가 어려운 것으로 나타나고 있다. 따라서 물량산출서상의 자재와 CO₂ 원단위의 매칭 속도가 평가의 정확성과 효율을 결정하는 것으로 분석되며, 건축물 전 과정 CO₂ 평가의 효율화를 위해서는 물량입력 프로세스 개선의 필요한 것으로 분석된다. 물량자동입력 기술은 엑셀파일 형태의 구조화된 물량산출서를 읽어 들여 평가에 필요한 정보를 통해 CO₂ 배출량을 계산하는 방식으로 구성되어 있다. 이를 위해 물량산출서의 구조를 표준화된 입력 포맷으로 규정짓고 데이터 맵핑(Data Mapping)기술을 활용하여 CO₂ 배출량 계산에 필요한 품명, 물량, 비용 정보 등과 평가결과 분석에 활용되는 공중분류 등을 읽어 들여 자동으로 계산을 실시한다. 물량자동입력 기술이 적용되었을 경우 평가입력에 소요되는 시간이 10분 내외로 단축되는 것으로 분석되었으며, 이는 기존 기술대비 전체 평가입력 및 분석시간을 90% 이상 단축시키는 것으로 나타났다. 따라서 물량자동입력 기술은 건설단계 자재생산 평가에 효율



그림 1 웹 기반 평가기술의 연계성

성 향상에 효과적인 것으로 판단된다. 단, 물량산출서의 자동입력 시 데이터의 오류 검증과 입력정보 분석이 반드시 필요하며, 이를 통해 정확성을 확보한 효과적인 평가입력 시스템을 구축할 수 있을 것으로 보인다. 따라서 Carbon Expert는 물량산출서 및 자동입력 단계에서 포맷 및 데이터의 신뢰성을 확보할 수 있는 오류검증 모듈을 적용하여 시스템을 구축하고자 하였다. 또한 자동입력기술은 입력 포맷을 활용하여 견적 시스템, 3D 및 BIM 모델링 도구의 산출 결과 분석 및 적용이 가능해 건축물 설계의 전 단계에서 사용될 수 있으며 프로그램의 활용성을 높일 수 있는 것으로 사료된다.

1) 물량산출서

물량산출서는 건축물에 사용된 자재에 대해 물량, 단가, 비용 등을 기록한 문서를 의미하며, 모든 자재 내역을 포함하고 있어 건설단계 자재생산의 CO₂ 배출량을 평가하기 위해서는 반드시 필요한 정보이다. 건축물 유형에 따라 주요 자재의 종류와 사용된 자재수의 차이가 발생하며, 동일한 건축 유형이라 할지라도 사용목적, 구조 및 설비시스템의 종류에 따라 종류가 다르게 나타난다. 따라서 물량산출서는 자재 내역을 토대로 건축물의 성격 분석 및 사용 물량을 평가하는데 필수적인 자료라 평가된다.

물량산출은 개략견적 및 외부 프로그램, 현장자료 등을 통해 가능하며, 산출의 목적에 따라 적합한 방법을 이용하게 된다. 개략견적 및 외부 프로그램은 설계단계에서 건축물 견적을 위해 실시하는 방법으로서 제한된 정보를 활용하여 산출하게 된다. 개략견적은 기존 산출근거를 활용하거나 개발된 프로그램을 활용할 수 있으며, 유형화된 건축물의 산출 시 비교적 정확한 결과 값을 도출하나 유형화되지 않은 건축물은 이로 인한 오류 가능성을 내포하고 있다. 외부 프로그램은 BIM 프로그램 등을 의미하며, 비교적 정확한 물량산출이 가능하나 모델링 정도에 영향을 받는 단점이 있다. 현장자료는 자재의 입·출입 정보를 기록한 것으로 다른 방법에 비해 비교적 정확한 값을 도출할 수 있다. 현행 물량산출서는 품목에 대한 입력방식이 물량산출 주체 및 현장관리 주체에 따라 상이하게 나타나며, 이를 읽어 들여 평가 자료로의 활용에 하는 문제점이 많다. 즉, 자재 명칭 및 물량표기법 등의 차이로 계산과정의 오류 가능성을 포함하고 있고 평가에 필요한 정보 일부가 누락되어 자동입력을 위한 물량산출에 부적합한 경우가 많은 것으로 나타나고 있다. 따라서 표준화된 입력포맷을 활용한 물량산출서의 적용이 건설단계 자재생산 CO₂ 배출량 평가에 필요한 것으로 사료된다.

2) 데이터 맵핑

데이터 맵핑은 두 가지 이상의 데이터로부터 동일한 요소를 찾아내고 데이터를 전환하거나 연관시키는 데이터 입력 출력 기술을 의미하며, 물량산출서상의 자재와 CO₂ 원단위를 적용하기 위한 필수 요소기술이다. 따라서 맵핑기술의 적용을 위해서는 두 데이터간 공통요소 도출이 필요하며, 정보의 구조화 정도에 따라 데이터 맵핑 결과물의 속도와 정확성이 결정된다고 볼 수 있다.

Carbon Expert는 GS건설의 물량산출서와 CO₂ 원단위 맵핑을 통해 자재생산단계의 CO₂ 배출량을 평가하고자 하였다. 이를 위해 물량산출서상의 자재정보, 단위, 물량, 비용정보, 공종분류, 관리주체와 물량 및 비용기준의 CO₂ 원단위를 맵핑하여 계산하도록 하였다. 여기서 자재정보, 단위, 물량은 물량 기준 CO₂ 배출량을 평가하기 위한 것으로서 실제 자재가 적용된 무게 및 면적, 부피에 따라 연산하도록 하여 일반적인 물량산출서 및 BIM 프로그램의 물량산출 특성도 자동입력이 가능하도록 하였다. 비용정보는 해당자재의 총 투입금액 및 단가정보를 활용하여 계산하도록 하였으며, 건축자재부문의 총 비용 및 cut-off level 설정 시 활용할 수 있도록 하였다. 공종분류 및 관리주체는 평가결과 분석을 위해 적용하였다. 공종분류는 자재 종류에 따른 사용처 분석 및 CO₂ 배출특성을 위해 적용하였으며, 건축, 토목, 전기, 설비로 분류하였다. 관리주체는 해당 자재의 관리 영역을 설정하는 것으로서 건설 산업의 도급 및 외주 구조에 따라 CO₂ 배출 관리주체를 분류하기 위한 것이다. 또한 cut off level 설정시 제외 경계를 구축할 수 있어 국제 규격에 맞는 평가를 실시할 수 있도록 하였다.

3.4 대안평가 기술

대안평가는 건축물 CO₂ 배출량 저감을 위한 요소기술을 적용하고 이를 평가하여 해당 건축물에 최적 기술을 결정하기 위한 기법으로 알려져 있다. 이를 구현하기 위해 Carbon Expert에서는 건축물 전 과정 CO₂ 평가에서의 대안평가를 위해 템플릿 기술을 개발하여 구축하였다. 이는 기존 프로그램의 대안평가 방식인 평가 완료 프로젝트의 재생성을 통해 결과 값을 비교하는 간접적인 방식이나 입력 단계 및 평가 결과단계에서 프로젝트의 일부분에 요소기술을 적용하도록 하는 제한적인 방식에서 벗어나, 건축물 전 과정 CO₂ 배출량 평가에 적합한 방식을 적용하기 위한 것이며, 특히 프로젝트 재생성 과정을 거치지 않도록 하여 기존 대안평가의 문제점인 대안 평가 소요시간 증가 문제를 해결하고자 하였다.

1) 대안기술

대안기술은 대안평가를 위한 기술을 의미하며 단계별 특성에 따른 적용을 실시하게 된다. 즉, CO₂ 저감 기술은 내재에너지의 감소, 사용 에너지의 감소, 사용 에너지의 전환 등으로 요약되며, 이를 건축물 전 과정 평가에 활용하고, CO₂ 증감량을 계산하는 것이 Carbon Expert의 대안평가 기술이라 할 수 있다.

2) 템플릿기술

템플릿은 형판을 의미하는 것으로 Carbon Expert에서는 건축물 전 과정의 대안 평가입력 틀을 제공하는 것으로 정의하였다. 즉 대안평가 시점 이전에 작성된 대안템플릿을 통해 프로젝트를 평가하게 되며, 이때 템플릿의 내용은 CO₂ 배출량 평가 근거로서 활용된다. 따라서 템플릿의 내용은 대안 평가대상 및 내용과 평가방식에 따라 자유롭게 구성 가능하며, 평가자의 의도 반영에 효과적인 것으로 분석된다.

대안평가를 위한 템플릿은 건설단계, 운용단계, 철거단계의 건축물 전 과정 정보를 포함하며 단계별 특수성을 반영하도록 하였다. 특히 단계별 대안 기술에 대한 대체 비율 및 대체 비용 수준을 설정할 수 있어, 요소기술의 적용 범위에 따른 CO₂ 증감량과 대안의 상대적 비용을 종합적으로 분석하도록 하였다.

대안 입력 단계 중 건설단계는 대안자재, 대안 운송, 대안시공으로 분류하였다. 대안자재는 자동입력된 물량산출서의 내용을 물량 및 비용기준 CO₂ 원단위 및 자재 종류 변경을 할 수 있다. 대안 운송 및 시공은 입력단계에서 설정된 운송 및 시공수단의 에너지원을 변경할 수 있는 것으로서, 대체비율을 통해 에너지원을 전환하거나 에너지 사용량 저감효과를 반영할 수 있도록 하였다.

운용단계는 운영1, 운영2, 유지관리 단계로 분류하였다. 운영1은 입력단계에서 설정된 에너지원을 변경할 수 있는 것으로서, 대체비율을 통해 에너지원을 전환하거나 에너지 사용량 저감효과를 반영할 수 있도록 하였다. 운영2는 운영단계 대안기술로서 신재생 에너지 적용을 위해 구축하였다. 이를 위해 운영1의 상대적 비율 대안에서 벗어나 총 증감량을 구성할 수 있도록 하여 신재생 에너지의 CO₂ 배출 저감 효과 및 운영단계 비용 절감 효과를 반영할 수 있도록 하였다. 유지관리는 연간 적용되는 유지관리 기술의 총 CO₂ 배출량과 비용을 반영할 수 있도록 하였다.

철거단계는 대안 해체, 대안 운송, 대안 폐기로 분류하였다. 철거단계는 장비 조합과 에너지원 선택의 유사성을 고려하여 장비 조합 변경 및 에너지 전환, 대체비율을 통해

철거 장비의 사용에너지원을 전환하거나 에너지 사용량 저감효과를 반영할 수 있도록 하였다.

3) 대안템플릿 적용

대안템플릿 기술을 적용한 대안평가는 그림 2와 같이 구축된 대안기술 입력 템플릿을 프로젝트 평가단계에서 적용하여 구현된다. 이에 따라 대안 템플릿은 작성시점과 적용시점이 분리되며, 모든 프로젝트에 적용 가능한 범용성을 갖게 된다. 즉, 대안템플릿 작성시점은 대안기술 DB를 구축하는 단계이며, 대안템플릿의 프로젝트 평가 적용시점은 DB를 활용하는 단계로 구분되어질 수 있다. 이는 구축된 대안기술 DB의 적용 대상이 평가하고자 하는 모든 프로젝트에 적용 가능함을 의미하며, 이를 통해 템플릿의 활용성 및 사용성을 확대할 수 있을 것으로 분석된다. 또한 구축된 대안 템플릿을 활용하여 프로젝트에 다양한 기술의 대안평가를 실시할 수 있으며 효용성 분석에 효과적인 것으로 사료된다.

대안템플릿은 평가단계에서 프로젝트 입력정보에 대한 평가 근거로서 활용된다. 즉, 평가DB와 대안템플릿 내용을 토대로 평가시스템을 활용하여 평가를 진행하게 된다. 따라서 템플릿의 범용성과 이의 적용을 통해 단계별 요소기술 적용의 단편적인 방법 뿐만 아니라 단계별 조합을 통한 확장된 대안 기술 구현이 가능하다. 따라서 기존 대안평가 기술의 문제점으로 지적된 공법 및 친환경 요소기술 부대효과의 구현이 가능해 폭넓은 평가가 실시될 수 있다.

대안템플릿 기술은 DB 구축과 적용시점의 단계분할에 의한 시스템의 효율성 확보 뿐만 아니라, 대안평가의 폭넓은 구현과 건축물 전 과정에 이르는 CO₂ 배출량의 저감 및 비용 효과를 확인하기 위한 효과적인 방안이라 사료된다.



그림 2 대안평가 기술

4. 건축물 전 과정 CO₂ 평가 시스템 구축

4.1 개요

건축물 전 과정 CO₂ 평가 시스템은 평가시스템, 분석시스템, 유지관리 시스템으로 구성되어 있다. 평가 시스템은 구축된 요소기술 중 웹기반 평가기술 및 물량자동입력, 대안평가기술을 적용하여 건축물 생애주기에 따른 단계별 평가 및 대안템플릿 기술을 적용한 대안평가기술을 구현하였다. 분석시스템은 평가시스템을 기반으로 계산결과에 대한 단계별 분석 및 평가결과 출력을 위해 유지관리시스템은 프로그램의 향상성 및 지속가능성을 위해 구축하였다.

4.2 평가시스템

평가시스템은 건축물 전 과정 평가를 하기 위한 요소기술의 조합으로 구성되어 있으며, 평가입력 정보 및 사용자 관리를 위한 프로젝트 관리기술, 단계별 입력을 통한 평가 정보 입력 및 연산을 수행하는 전 과정 평가기술, 평가결과로부터 정보를 추출하기 위한 분석기술로 구분되어 진다. 프로젝트 관리기술은 평가를 진행하기 위한 정보를 관리하기 위해 구축되었으며, 웹 기반 프로그램의 특성을 고려하였다. 전 과정 평가기술은 단계별 평가입력을 통해 건축물 CO₂ 배출량을 계산할 수 있도록 구성하였으며, 분석기술은 사용자의 요구 사항에 따라 세부 결과로 나타낼 수 있도록 하였다.

4.2.1 프로젝트 관리기술

본 프로그램 개발은 웹 기반 평가 프로그램 개발을 목적으로 진행되었으며, 이에 웹 기반 평가기술의 요소기술을 바탕으로 프로젝트 관리기술을 구현하였다. 이는 프로젝트의 단계별 진행 및 프로젝트간 관리의 요구사항으로부터 도출되었으며, 건설산업의 특성을 반영하고자 하였다. 따라서 프로젝트 관리시스템은 프로젝트와 하위 개념인 상세프로젝트로 구분하여 설계의 진행 및 변경사항에 대응하도록 하였다.

1) 프로젝트

프로젝트는 평가입력 정보를 포함하고 있지 않으며, 하위 개념인 상세프로젝트를 동일한 범주에 묶어주는 역할을 한다. 즉, 프로젝트는 평가에 사용되는 정보를 포함하는 상세프로젝트를 담고 있는 폴더의 개념으로서, 이를 위해 프로젝트는 평가 대상 건축물의 일반정보를 담고 이를 상세프로젝트와 공유한다. 프로젝트에 포함된 정보는 상세프로젝트 생성 시 포함하도록 하여 동일 프로젝트 내에서의 상세프로젝트 생성시간을 단축하고자 하였다.

2) 상세프로젝트

상세프로젝트는 프로젝트의 기본정보와 건축물 전 과정 CO₂ 배출량 평가정보를 포함하고 있으며, 평가 근거로서 활용된다. 또한 프로젝트 복수로 존재할 수 있도록 하여, 프로젝트 내부에서 다양한 평가가 이루어지도록 하였다.



그림 3 프로젝트 및 상세프로젝트

4.2.2 전 과정 평가기술

전 과정 평가기술은 CO₂ 배출량 평가를 위한 기술로서 건축물 전 과정을 생애주기에 따라 건설단계, 운용단계, 철거단계로 시스템 경계를 설정하고, 각 단계별 입력은 세부 단계로 구분되어 평가를 진행한다. 또한 자재 및 에너지 사용량 중심의 물량기반 평가와 단계별 투입비용을 통한 비용기반 평가를 가능하도록 하여, 적합한 방식을 활용하도록 하였다. 다음은 단계별 평가 특성이다.

1) 건설단계

건설단계는 자재생산과 운송, 시공으로 구분된다. 자재생산은 자재의 생산과정 중에 발생하는 CO₂ 배출량을 물량산출서와 CO₂ 원단위에 근거하여 평가한다. CO₂ 원단위를 산출하기 위한 기법으로 산업연관분석방식, 개별적산방식, 혼합분석방식을 분석·활용하였다. 운송 및 시공은 자재생산 단계에서 도출된 각 자재별 물량을 생산지나 저장장소에서 건설현장까지 운반하고 건설현장에서 건축물을 시공하는데 투입되는 사용장비의 에너지량을 통해 CO₂ 배출량을 평가하도록 하였다.

2) 운용단계

운용단계는 운영과 유지관리로 구분된다. 운영은 건축물 사용 중 소비되는 에너지량을 평가하는 단계로 프로젝트의 특성에 따라 실측치 및 에너지 시뮬레이션 결과를 입력하는

입력방식, 에너지 총 조사보고서에 근거한 추계모델방식, 에너지관리공단의 에너지성능평가프로그램을 활용한 에너지효율등급방식을 채택하였으며, 유지관리는 수선 및 보수방식에 따른 CO₂ 배출량을 통해 CO₂ 배출량을 평가하도록 하였다.

3) 철거단계

철거단계는 철거물량 산출, 해체, 운송, 폐기로 구분된다. 철거물량은 건축물 유형에 따른 콘크리트, 금속 및 철재류, 혼합철거물량을 산출하여 기본정보로서 활용된다. 한편, 해체, 운송, 폐기는 연비, 운영시간, 평균운송거리 등의 장비 사용에 투입된 에너지량을 토대로 CO₂ 배출량을 평가하도록 하였다.

4.2.3 대안평가기술

대안평가기술은 전 과정 평가기술에 기반 한 대안템플릿의 적용을 통해 구현하였다. 즉, 전 과정 평가기술의 단계별 및 세부단계 평가입력 기반 대안템플릿 시스템을 구축하고, 이를 평가시스템의 평가 근거로 이용되도록 하였다. 평가 근거의 변경을 통해 대안 평가를 진행하고자 하는 프로젝트의 입력 내용을 변경하지 않아도 되며, 구축된 평가 시스템을 우회 사용하기 때문에 시스템의 부하를 줄이고 단순화할 수 있다.

대안평가는 상세프로젝트와 대안템플릿의 구축으로부터 가능하다. 따라서 평가자는 상세프로젝트를 생성하거나 기



그림 4 대안템플릿 적용



그림 5 평가결과 분석

입력된 상세프로젝트를 선택하여 평가를 진행한다. 또한 대안템플릿은 시스템에서 제공하는 단계별 입력방법에 따른 진행을 통해 생성가능하며, 이를 통해 대안템플릿은 시스템 내에서 모든 상세프로젝트에 적용 가능한 범용성을 확보할 수 있다. 또한 복수의 대안템플릿을 적용 가능하여, 대안평가의 활용성을 높이고자 하였다. 이는 웹 기반 평가 프로그램의 장점으로서 평가자의 참여를 유도할 수 있다. 즉, 대안템플릿을 생성하는 평가자는 건축물 전 과정 CO₂ 평가프로그램(Carbon Expert)의 대안평가를 위한 DB를 구축하게 되는 것이며, 본 시스템을 이용하는 모든 평가자들의 평가 기반 DB로 활용된다. 따라서 대안평가 DB를 구축 및 활용의 순환과정을 통해 양질의 DB를 확보하며, 평가자의 참여를 통해 지속가능한 시스템이 되도록 할 수 있다.

대안템플릿의 적용은 상세프로젝트의 기본정보화면에서 선택과 적용 방식을 통해 손쉽게 이루어 질 수 있도록 하였다. 그림 4는 상세프로젝트의 기본정보 화면으로서 대안템플릿이 적용되어 있는 사례이다. 대안템플릿의 추가는 하단의 대안템플릿 적용을 통해 기 구축된 템플릿 리스트에서 선택 및 적용을 통해 가능하며, 대안템플릿 해제는 해당 템플릿 체크 및 대안 템플릿 삭제를 통해 가능하다. 이

를 통해 대안평가 방식을 기존의 프로젝트 재생성에서 구축된 프로젝트 정보의 활용으로 전환할 수 있었으며, 투입되는 시간의 감소, 신기술에 대한 효과적 대응, DB 구축 및 활용의 지속가능성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

4.3 분석시스템

분석시스템은 계산된 평가결과를 분석하여 출력하기 위한 시스템으로서, Carbon Expert에서는 분석결과의 가공 수준에 따라 다양한 결과분석을 제시하고자 하였다. 이에 정보의 가공수준에 따라 요약·상세평가로 구분하여 나타낼 수 있도록 하였다. 요약평가는 일반적으로 건축물 전 과정 CO₂ 평가를 실시할 때, 평가자에게 유용하다 판단되는 결과를 시각화하여 출력하는 것을 목표로 한다. 따라서 평가결과를 분석하여 평가개요에 출력하게 되며, 건축물 전 과정의 단계별 평가결과에 대해서는 그래프 중심으로 구성되도록 하였다. CO₂ 배출량이 많은 건설단계 자재생산 및 운용단계 운영의 에너지 사용량은 배출량이 많은 상위자재 및 에너지를 분석하여 분류·출력하도록 되어있어 손쉬운 확인이 가능하도록 하였다.

상세평가는 건축물 전 과정 CO₂ 평가를 실시하고, 평가자에게 평가결과 분석 자료를 제공하는 것을 목표로 한다. 따라서 평가결과의 분석기술 및 CO₂ 발생항목의 분류는 수행되지 않고, 단계별 CO₂ 발생량을 가공없이 출력한다. 단 자재생산은 대표 항목으로 표기하며, 상세평가보다 세부적인 내용은 엑셀파일 출력기능을 이용해 가공되지 않은 평가결과를 얻을 수 있도록 하였다.

또한 상세프로젝트간 CO₂ 배출량의 상대적인 비교 및 단계별 평가를 위해 개별·비교평가로 나타낼 수 있도록 하였다. 개별평가는 일반적인 평가방법으로서, 하나의 상세프로젝트를 평가를 목적으로 한다. LCCO₂ 평가를 위한 상세프로젝트 목록에서 선택 후 평가 가능하며, 요약·상세를 통해 평가결과의 분석정도를 선택할 수 있다. 비교평가는 비교분석을 위해 선택하는 평가방법으로서, 상세프로젝트간 CO₂ 배출량의 비교·분석을 목표로 한다. LCCO₂ 평가를 위한 상세프로젝트 목록에서 4개까지 선택 후 평가 가능하며, 요약·상세를 통해 평가결과의 분석방법을 선택할 수 있다. 상세프로젝트 선택의 순서에 따라 Baseline 모델과 Alternative 모델이 순서대로 평가되며, 요약평가 선택 시 분석되는 결과는 Baseline 모델 기준으로 출력된다. 상세 평가결과 및 엑셀파일 출력기능도 동일하게 이루어진다.

4.4 유지관리 시스템

유지관리 시스템은 Carbon Expert를 운영하고 지속가능화 하기위한 관리기능을 의미하며, 계정관리, 평가항목관리, DB관리로 구분되어질 수 있다. 계정은 웹 기반 프로그램의 다수의 사용자 관리를 위해 운영되며, 계정정보는 프로젝트, 상세프로젝트, 대안템플릿 생성 시 포함되어 관리되도록 하였다. 평가항목관리는 평가에 활용되는 추계모델식을 관리하는 것으로 추가·수정·삭제를 통해 평가시점에 적합한 모델을 활용할 수 있도록 하였다. DB관리는 건축물 전 과정 CO₂ 평가 근거로 사용되는 평가 DB의 최신화를 목적으로 구성되어 있다. 이를 위해 자재 DB, 에너지 DB, 기타 DB로 분리되어 관리하며 DB형식도 다르게 구축되어 있다. 자재DB는 건설단계 자재생산의 평가DB를 관리하기 위한 항목으로 상세프로젝트는 자재 DB를 근거로 건설단계 자재생산을 평가하게 된다. 에너지DB는 평가 전 단계의 에너지 관련 평가DB를 관리하기 위한 항목으로 에너지원별 표기단위, CO₂ 발생량, CO₂ 원단위를 입력하게 된다. 기타 DB는 요약평가 시 활용되는 평가DB를 관리하기 위한 항목으로 탄소세 등 기타 평가항목이 포함되어 있다. 평가 DB는 최신화를 목표로 운영되며, DB종류에 따라 계

층화되어 저장된다. 또한 히스토리 관리를 통해 DB 축적에 따른 평가혼란을 방지하도록 구성되어 있다.


5. 결론

건축물의 CO₂ 배출량 평가의 효율성을 확보하며 친환경 대안기술을 효과적으로 적용하고 분석하기 위한 건축물 전 과정 CO₂ 평가프로그램(Carbon Expert)개발을 목적으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 건축물 생애주기의 단계별 CO₂ 배출량을 평가하고 특성분석을 통해 종합적인 결과를 제시하며, 친환경 대안기술을 통해 CO₂ 배출량 저감을 위한 건축물 전 과정 CO₂ 평가 프로그램(Carbon Expert)을 개발하였다.
- 2) 요소기술은 핵심가치에 부합하는 건축물 전 과정 CO₂ 평가 기반기술을 의미하며, 웹 기반 프로그램 기술, 물량자동입력, 대안템플릿 기술을 도출하였다.
- 3) 웹 기반 평가기술은 시스템을 일원화 하고 다수의 사용자에게 대응하는 관리 기능을 통해 효과적인 평가입력구조를 구축하였으며, 외부 모델링 및 분석도구를 연계하고 정보흐름을 단순화하고 평가·분석·축적의 활동이 순환적으로 이루어지도록 하여, 건축물 CO₂ 평가 HUB로 활용할 수 있도록 개발하였다.
- 4) 물량자동입력은 물량산출서의 표준 입력포맷을 규정하고 구조화된 데이터 맵핑(Data Mapping)기술을 적용하여 건설단계 물량입력을 정확하고 효과적으로 실시할 수 있도록 개발하였다.
- 5) 대안평가기술은 건축물 CO₂ 배출량 저감을 위한 친환경 대안기술을 효율적으로 적용하기 위해 건축물 전 과정 대안템플릿 기술을 개발하였으며 프로젝트에 개별적용 및 중복적용이 가능하도록 하여 평가 범위 및 활용성을 확보하였다.
- 6) 전 과정 CO₂ 평가기술은 건축물의 생애주기를 건설단계, 운용단계, 철거단계로 구분하고, 단계별 적합한 평가기법 및 DB를 적용하여 CO₂ 배출량을 정량적으로 평가할 수 있도록 하였다.
- 7) 건축물 전 과정 CO₂ 평가 프로그램(Carbon Expert)은 요소기술과 평가시스템, 분석시스템, 유지관리 시스템으로 구축되었으며 구성요소간의 유기적인 연결을 통해 지속가능한 평가 프로그램으로 운영 가능할 것으로 사료된다.

향후 건축유형별 사례분석을 통해 평가기술의 적합성을 확보하며, BIM모델링 및 외부 평가도구와의 연계성 분석을 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

1. 이승언 외, 건축물 LCA(Life Cycle Assessment)를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발연구, 한국건설기술연구원, 2002
2. 한국건설교통기술평가원, 건축물의 LCA(Life Cycle Assessment)를 위한 원단위작성 및 프로그램 개발연구, 2004
3. 건설교통부, 건축물 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구, 2002
4. 대한주택공사, 공동주택의 생애 총에너지소비량 산정에 관한연구(I), 1998
5. 우지환 외, 표준공동주택의 주요 건설자재 설정을 통한 공동주택 환경부하 평가 비교에 관한 연구, 한국생태환경건축학회, 2010.2
6. 이강희 외, 주요 건축자재의 에너지 소비와 이산화탄소 배출 원단위 산정 연구, 대한건축학회논문집 계획계 제 25권 제6호, 2009
7. 태성호 외, 공동주택의 전 과정주기 이산화탄소(LCCO₂) 간이평가 기법 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 제 26권 제8호, 2010
8. 김종엽 외, 건축물 건설단계에서의 에너지소비량 및 CO₂ 배출량 원단위 산출, 대한건축학회논문집 제 20권 제10호 2004
9. Sung-Ho Tae, Sung-Woo Shin, Current work and future trends for sustainable buildings in South Korea, Vol.13 (2009), Issue8, pp.1910-1921 Renewable & Sustainable Energy Reviews
10. Zhuguo Li, A new life cycle impact assessment approach for building, Building and Environment, Vol.41 No.10, 2006
11. Sung Ho Tae, Sung Woo Shin, Jee Hwan Woo, Seung Jun Roh, The development of apartment house life cycle CO₂ simple assessment system using standard apartment houses of South Korea, Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol.15 No.3, 2011
12. A. Haapio, P. Viitaniemi. A critical review of building environmental assessment tools. Environmental Impact Assessment Review 2008;28:469~82.
13. Z. Li. A new life cycle impact assessment approach for building, Building and Environment 2006;41:1414-22.
14. A. M. Omer. Power, people and pollutions. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2008;12:1864-89. 

[담당 : 박효선, 편집위원장]