

건축물 계획단계 LCCO₂ 평가시스템의 필요요소에 관한 연구

A Study on the Requisite Elements of LCCO₂ Evaluation System at Planning Stage of Building

백 정 훈* 태 성 호** 노 승 준*** 이 주 호**** 신 성 우*****
Baek, Cheong-Hoon Tae, Sung-Ho Roh, Seung-Jun Lee, Joo-Ho Shin, Sungwoo

요 약

국내에서 기 개발된 LCCO₂ 평가프로그램은 실시설계 이후에 자재물량을 직접 입력하는 방식으로, 최적의 환경부하 저감 전략을 입안하는데 한계가 있었다. 이에 본 논문은 계획단계에서 비용대비 에너지 효율이 높은 방안으로 신속하게 대응하면서 정확성이 높은 시스템을 구축하기 위한 필요 요소를 추출하고 제안하는 것을 목적으로 한다.

이를 위하여 기존의 국내외 LCCO₂ 평가프로그램을 비교분석하여 계획단계에서 건축물의 에너지 성능개선 전략수립을 목적으로 한 GEM-21P와 Carbon Navigator를 조사대상 평가프로그램으로 선정 후, 두 프로그램에 대해서 LCCO₂ 산출방법과 시스템의 구조에 대한 비교분석을 실시하였으며, 이를 바탕으로 계획단계에서 건축물의 전 생애 환경부하를 평가할 수 있는 시스템 구축의 필요요소를 제안하였다.

키워드 : LCCO₂, 평가프로그램, 계획단계, GEM-21P, Carbon Navigator

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

정부는 건축물의 온실가스 배출에 적극적으로 대응하기 위해서 '녹색도시·건축물 활성화 방안'을 발표하고, 2012년 주거용 건축물의 연간 에너지 소비량을 현 기준 대비 30% 감축, 2025년에는 제로에너지건축물을 의무화하는 등 건축물의 에너지 소비량 기준을 단계적으로 강화하고 있다(국토해양부, 2009).

이에 따라 온실가스 감축의 실질적인 주체가 될 수밖에 없는 기업의 대응이 빨라지고 있다. 몇몇 기업에서는 자사의 건축물에 대하여 이산화탄소 배출량을 평가하고, 효율적인 절감방안을 수립하기 위해서 건축물의 전 생애를 대상으로 하는 평가프로그램(이하 LCCO₂ 평가프로그램) 개발을 완료하였거나 진행 중에 있다.

그러나 건축물의 LCCO₂ 배출 평가는 건설 기획 및 기본설계

단계에서 용이하게 평가되어 환경부하가 큰 건축물에 대해 이산화탄소 감축을 위한 친환경건축기술을 제안하고 이를 설계단계에 원활히 반영되어야 함에도 불구하고 현재 이와 같은 프로그램 개발은 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 계획단계에서 건축물의 LCCO₂ 평가시스템을 구축하기 위한 필요요소를 제안하는 것을 목적으로 하고 있다.

1.2 연구의 범위 및 구성

건축물 LCCO₂ 평가프로그램의 목적은 크게 건축 환경정책의 평가, 환경성능인증제도로서의 활용, 건축설계대안에 대한 환경영향도 평가로 구분할 수 있다(이승연, 2001). 건축 환경정책의 평가는 국내 건축물의 환경부하 발생총량을 평가함으로써 장수명화대책, 에너지절약대책, 리모델링 정책 등 건축정책이 갖는 장기적 환경부하 저감대책을 평가하기 위함이다. 환경성능인증

* 일반회원, 한양대학교 친환경건축연구센터 연구교수, 공학박사, baek76@hanyang.ac.kr

** 일반회원, 한양대학교 건축학과 조교수, 공학박사, 교신저자, jnb55@hanyang.ac.kr

*** 일반회원, 한양대학교 건축환경공학과, 석사과정, roh.seungjun@gmail.com

**** 일반회원, 롯데건설 기술연구소 이사, 공학박사, joo7777@lottenc.com

***** 일반회원, 한양대학교 건축학과 교수, 공학박사, swshin@hanyang.ac.kr

제로로서의 활용은 건축물의 제반 환경 친화적 설계 대안에 대한 정량적 평가 수단을 제공하기 위함이다. 마지막으로 건축설계대안에 대한 환경영향도 평가는 복수의 설계안에 대한 환경부하 배출량을 산출하여 환경부하 저감을 위한 설계 대안 및 경제성을 평가하기 위함이다. 본 연구에서는 “건축설계대안에 대한 환경영향도 평가” 목적의 LCCO₂ 평가프로그램을 연구의 범위로 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다.

분석 대상의 프로그램을 선정하기 위하여 기존의 국내외 유사 프로그램을 비교분석하였으며, 계획단계에서 건축물의 에너지 성능개선 전략입안을 목적으로 한 시미즈 건설의 GEM-21P와 다이세이 건설의 Carbon Navigator를 조사대상 프로그램으로 선정하였다. 두 프로그램에 대해서 LCCO₂ 산출방법에 대해서 생애주기에 따라 기술하였으며, 프로그램의 시스템 구조에 대해서 비교 분석을 실시하였다. 최종적으로 비교분석 내용을 바탕으로 계획단계에서 건축물의 LCCO₂ 평가시스템구축의 필요요소를 제안하였다.

연구 방법은 문헌조사와 함께 시미즈건설 및 다이세이 건설 기술연구소를 직접 방문하여 실제 개발 관계자와의 인터뷰 조사를 실시하였다.

2. 건축물 계획단계 LCCO₂ 평가에 관한 기존문헌

국내에서 건축물의 LCCO₂에 관한 연구는 1990년 말부터 소개되기 시작하여 최근 들어 활발히 이루어지고 있다.

이강희 외 1인(1996)은 공동주택을 대상으로 건설공사에 사용되는 모래 및 자갈, 레미콘 등의 대표적인 건축자재와 재료의 원단위를 제시하였다. 한국건설기술연구원(2001)에서는 건축물 유형, 구조형식과 전 생애 단계에 따른 인벤토리 분석을 위한 원단위를 작성하였으며, 김종엽 외 2인(2004)은 건설자재 생산단계에서의 환경부하 원단위를 산출하였다. 이들 연구는 공동주택 자재생산 및 건설단계의 건축공사를 대상으로 제한적으로 수행되었다. 이강희(2003)는 산업연관분석법을 이용하여 건축물의 전 생애 단계 중 건설단계의 건축공사, 토목공사, 기계·전기설비공사를 대상으로 환경오염 배출량을 파악할 수 있는 방법론을 제시하였으나 건축물의 전 생애단계에 대한 고려에 있어서 한계를 가지고 있다.

정보라 외 3인(2008)은 건축물의 전 생애단계에 대해서 CO₂ 배

출량 산정방법을 제시하였으나, 신축시 투입되는 물량데이터와 에너지 사용량의 실측 데이터를 통하여 환경부하를 산정하고 있어 건축물 계획단계에서의 평가는 연구범위에 해당되지 않았다.

한편 노승준 외 1인(2010)과 태성호 외 3인(2010)은 건축물 기본설계단계에서 수행 가능한 건축물 전 생애 환경부하 평가 방법을 제안하였다. 이들 연구는 건축공사 이산화탄소 배출량의 80% 이상을 차지하는 주요자재를 선정하고, 그린홈 인증제도의 표준공동주택의 물량산출 데이터베이스를 이용하여 간단한 조건 입력만으로 물량 산출 및 자재생산단계에서의 이산화탄소 평가가 가능하도록 하였다. 또한 계획단계에서 운영단계의 CO₂ 배출량을 평가 가능하도록 그린홈 인증제도의 에너지소비량 산출 방법을 제안하였다. 그러나 그린홈 인증제도에서 제시한 5가지 평면과 주호조합, 층수 등을 조합한 90가지 형태에 대한 물량 산출을 기반으로 했기 때문에 환경부하가 적은 자재를 사용한 건축물을 평가하더라도 건설단계의 CO₂ 배출량은 표준건축물과 같은 값으로 평가되는 한계를 가지고 있다. 또한 친환경건축 기술 도입에 관한 CO₂ 배출량 평가는 운영단계만을 고려하고 있으며, 운영단계 평가 역시 그린홈 인증제도를 이용했기 때문에 냉방부하에 대한 평가는 무시되고 있다. 이러한 제안은 계획단계에서 건축물 환경부하 평가를 위한 방법론을 제시했다는 점에서 의의가 크지만, 표준건축물 평가에 제한되어 환경부하저감을 위한 건축설계대안 평가의 적절한 방식이라고 하기에는 무리가 있다.

계획단계에서의 건축물 환경부하 평가는 실제 물량과 에너지 사용량을 이용하지 못하기 때문에 유효한 추계방법과 간이평가에 용이한 인벤토리 구축이 요구되며, 설계대안 검토의 적절한 방법이 필요하다. 일본의 경우 환경부하 저감을 위한 설계 대안 제시의 목적으로 LCCO₂ 평가프로그램이 1990년대 초부터 개발되어 지속적인 프로그램 개선이 이루어졌다. 이러한 프로그램의 구조와 각 생애단계별 추계방식을 분석하여 프로그램 구축의 필요요소를 도출하는 것은 우리나라 실정에 맞는 건축물 계획단계에서 이용할 수 있는 시스템 구축에 기여할 것으로 판단된다.

3. 국내외 LCCO₂ 평가프로그램의 비교

선진국은 건축물의 전 생애를 통한 CO₂ 배출평가를 1990년대 초반부터 연구해 왔으며, 현재는 제도적 시행 및 검토단계에 있다. 주요 건축물 LCCO₂ 평가 프로그램은 표 1과 같다.

표 1. 국내의 건축물 LCCO₂ 평가 프로그램 입력방식 및 평가대상

		K-LCA	ECO-PIA	SUSB-LCA ver. 1.0	GEM-21P	Carbon Navigator	BASIX
입력방식	자재생산단계	자재 물량	DA	DA (DM)	DA		DM
	운송단계	연료량					-
	시공단계	연료 및 전력량					-
	운영단계	연료 및 전력량	DA	DA,	DA	, S	C
	유지관리단계	연료 및 전력량	R	R		, R	
	해체 및 폐기단계	연료 및 전력량					
평가대상 건축물		공동주택	공동주택	모든 건축물	모든 건축물	모든 건축물	단독주택, 공동주택

주) DA : 모든 물량이나 실측된 에너지량을 직접 입력하는 방식
 DM : CO₂ 배출과 관련된 주요 부위 또는 자재를 선정하고 선정된 자재를 직접 입력하는 방식
 | : 물량이나 에너지량을 통계데이터를 이용하여 단위면적당 투입량을 간접적으로 추계하는 방식
 S : 운영단계의 사용 에너지량을 에너지 시뮬레이션을 이용하여 산출된 에너지량을 직접 입력하는 방식
 R : 유지관리단계에서 건축, 설비 자재의 수선율, 수전주기를 이용하는 방식
 C : 에너지 사용량 도출을 위한 체크리스트 방식의 에너지 산출방식

건설기술연구원이 2004년에 개발한 한국의 K-LCA는 산업연관분석표를 이용한 CO₂ 원단위를 이용하고 있으며, 건설단계 건설공정별 전체 건축자재 입력을 통한 상세평가방식을 채택하였다. 친환경건축물 인증제도와 접목하기 위한 기술적, 행정적 방안을 제시하였으나, 자재생산단계에서 물량산출서를 기반으로 모든 자재를 직접 입력해야 하고, 운영단계에서 실측된 사용 에너지량을 입력해야 하기 때문에 계획단계에서의 LCCO₂ 평가는 매우 제한적이다. 또한 평가에 많은 시간이 소요되며 대책안의 검토와 반영이 어렵다는 단점이 있다.

국내의 S건설사가 개발한 Eco-Pia의 자재생산부분 입력방식은 K-LCA와 마찬가지로 건축자재 직접 입력방식을 채택하고 있다. 운영단계에서는 추계모델식과 에너지 사용량 직접입력방식을 채택하고 있어 K-LCA에 비해 진일보된 프로그램으로 평가받고 있으나, 건설단계 입력 시 많은 시간이 소요되며 기존건축물 대비 절감율 산정이 곤란하다.

SUSB-LCA는 건축물의 전 생애단계에서의 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량을 산출하며, 기존건축물 대비 친환경건축물의 각 단계별 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량의 상대비교가 가능하다(태성호 외, 2010). 그러나 SUSB-LCA 역시 실시도면이 완성된 이후에 자재 입력과 에너지 사용량 입력이 가능하여 계획단계에서의 LCCO₂ 평가에는 한계를 지니고 있는 것으로 분석되었다.

GEM-21P는 시미즈 건설의 자사 건축물에 대해서 환경부하저감을 목적으로 개발되었으며, 자사의 실적 건축물의 통계데이터를 활용하여 단위면적당 에너지 투입량을 추계하는 방식으로 계획 초기 단계에서 복수의 에너지절감 대안에 대해서 검토가 가능하다.

Carbon Navigator 역시 GEM-21P와 마찬가지로 다이세이 건설의 자사 건축물에 대해서 계획단계에서 전 생애 환경부하

저감안을 피할 수 있도록 개발되었으며, 자재 물량과 에너지 사용량을 추계모델식을 이용하여 입력하고 있다.

호주의 BASIX는 체크리스트 방식의 간단하게 평가가 가능하지만 건축물의 전 생애를 고려한 CO₂ 배출량의 상세분석에는 한계가 있는 것으로 평가되었다(Grace, 2008; BASIX homepage).

이상의 평가프로그램에서 모든 용도의 건축물에 대하여 전 생애를 대상으로 하며, 계획 초기 단계에서 최적의 CO₂ 감축방안으로 대응이 가능한 프로그램은 GEM-21P와 Carbon Navigator가 해당되는 것으로 분석되었으며, 다음 장에서 이 두 프로그램을 중심으로 기술하도록 하겠다.

4. 대상 시스템의 LCCO₂ 산출방법

4.1 자재생산단계

일본 건축업협회에서는 1998년부터 LCA 전문부회를 발족하고 각 건설회사의 LCA에 관한 정보를 교환하는 한편, 건설자재의 인벤토리 항목을 정리하였다(건축업협회, 2003). GEM-21P와 Carbon Navigator 모두 건축업협회의 건설자재 인벤토리 항목을 바탕으로 수정·보완작업을 통해 데이터를 구성하였으며(표 2), 일본건축학회의 CO₂ 원단위를 사용하여 자재생산단계에서 발생하는 CO₂량을 추계하고 있다(鈴木 외, 2003).

계획단계에서 LCCO₂ 산출은 물량산출내역을 구할 수 없기 때문에 건설물가조사회에서 발간한 ‘건설공사표준 단위물량’을 이용하여 용도별, 구조별, 공정별로 연면적당 자재 투입량을 계산하여 추정하며, 여기에 자사의 건축실적으로 축적된 데이터베이스를 바탕으로 단위물량을 보완·추가하여 자사에 적합한 시스템을 구축하고 있다. 자재생산단계에서의 CO₂ 발생량은 다음 식에 따른다.

$$\text{자재생산단계 } CO_2 \text{ 발생량} = \sum_{i=1}^n (\text{자재}_i \text{ 총량} \times CO_2 \text{ 배출량 원단위}_i)$$

표 2. GEM-21P 부재 데이터 구성 예

공법(2차 재료)	단위	1차 재료코드	1차 재료	수량	단위
아스팔트방수 외단열 보 통콘크리트 누름	m ²	A11100010	누름콘크리트	-	m ²
		A11100020	용접금속 3.2φ-100각	-	kg
		A11100030	폴리프로필렌	-	m ²
		A11100040	발포 폴리스티렌 보드 30	-	m ²
		A11100050	아스팔트 방수층	-	m ²
시트방수 내단열	m ²	A11100060	연화비닐수지시트 방수층	-	m ²
		A11100070	접착제	-	kg
		A11100080	경화우레탄폼 20(슬래브 아래)	-	m ²

4.2 시공단계

시공단계에서의 CO₂ 배출량 산정은 직접적 배출과 간접적 배출로 구분하여 산정된다(송상훈, 2010). 직접적 배출은 현장 시공 공정에서 발생하는 장비에 의한 것과 현장사무소에서 소비하는 전력에 의한 것으로 분류할 수 있으며, 간접적인 배출은 자재의 운송과정에서 발생하는 것으로 분류된다.

그림 1은 시공단계의 LCA 산출 개념을 나타낸 것이다.

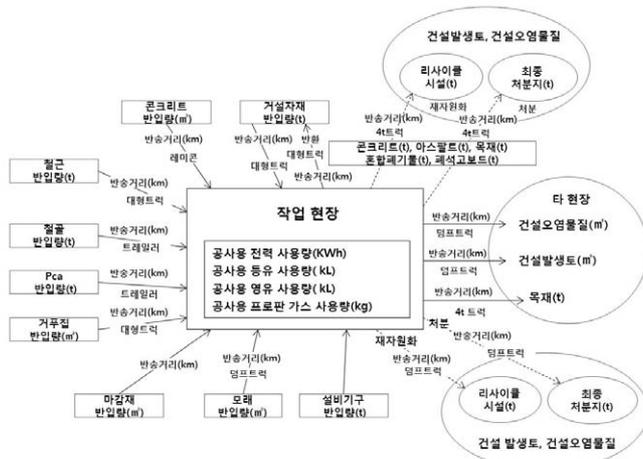


그림 1. 시공단계의 LCA 산출개념

(출처: 建築業協會, LCA專門部會活動報告書を 바탕으로 필자 재작성)

먼저 직접적 배출인 장비 연료사용량의 산출은 다음 식에 따른다.

$$\text{연료사용량} = \text{장비의 1일 연료소비량} \times \text{소요일수} \left(= \frac{\text{소요물량}}{\text{1일 중기작업량}} \right)$$

장비 연료소비량은 건설회사가 부담하는 것이 아니라 계약에 따라 중장비 업체가 하기 때문에, 현장에서 장비 연료 사용량을 파악하는 것이 쉽지 않다. 따라서 장비 업체와의 인터뷰 등을 통

해서 실태를 파악하여 표3과 같이 현장에서 장비의 1일 연료사용량을 추정하고 있다.

표 3. 장비의 1일 연료 소비량의 예

공사구분	사용되는 장비	1일 연료 소비량
말뚝박기	어스드릴, 백호우 generator	70 &/일
	generator	60 &/일
터파기	백호우(버켓 용량 0.7m ³)	100 &/일
	백호우(버켓 용량 0.4m ³)	60 &/일
	크랩셀 40t	140 &/일
크레인	Rough Terrain 크레인 30~45t	35~50 &/일
	Crawler 크레인 100t	50~100 &/일

장비의 소요일수는 건설물가조사회의 '건설공사표준 단위물량'의 자료를 바탕으로 각 중기가 1일에 어느 정도 작업이 가능한지를 참고하여 소요물량의 값에 나누어 소요일수를 산출할 수 있다. 이때 소요 물량은 GEM-21P의 경우 '건설공사표준 단위물량'을 이용하고 있으며, Carbon Navigator는 '일본건축학회 용도별 단위물량'을 이용하여 산정하고 있다.

직접적 배출의 또 다른 CO₂ 배출원인 전력사용은 공사용 전력량과 현장 사무소에서 사용되는 전력량으로 구분할 수 있으며, 자사의 건축물 용도별, 구조별로 건설공정에 따른 전력사용량의 통계치를 이용하여 표 4와 같이 연면적과 전력사용량의 관계를 도출하고 있다.

표 4. 건물용도별 연면적과 전력사용량 및 CO₂ 배출량과의 관계

구분	건축물 용도	함수식 (x는 연면적)
전력사용량	사무소 및 공공청사	y=33.018x-143578
	병원	y=27.537x-143665
	학교	y=9.4864x+12938
	집합주택	y=5.0101x+50239
CO ₂ 배출량	사무소 및 공공청사	y=17.901x-9624.1
	병원	y=14.958x-30552
	학교	y=6.4081x+45775
	집합주택	y=5.7383x+35613

표 4는 일본의 건축업협회의 환경부하전문부회가 76건의 건축물을 대상으로 시공단계의 건설 장비 및 현장사무소의 용도별 연면적과 전력사용량 및 CO₂ 배출량과의 관계를 정리한 것이다(建築業協會, 2003). CO₂ 배출량은 전력, 경유, 등유, 프로판가스의 소비량에 각각의 원단위를 곱하여 CO₂ 배출량의 총합을 나타낸 것이다.

자재 반출입의 소비에너지에 기인하는 CO₂의 산출은 반출입 자재량, 폐기물량의 운반에 필요한 연료를 반송거리를 가정하여 산출하고, 그것에 배출원단위를 곱하여 환경부하의 추계모델식을 적용하고 있다. 반출입 자재량, 폐기물량은 자사의 통계 값에 의해 추정한다.

4.3 운용단계

Junnila 등(2006)이 수행한 사례연구 결과에 따르면, 건축물의 전 생애 단계 중 운용단계에서 약 90%의 환경부하 물질이 배출되는 것으로 조사되었다. 즉, 운용단계는 건축물의 전 생애 주기 중 가장 많은 CO₂를 배출하는 단계로서, 정밀한 배출량 산출이 요구된다.

Carbon Navigator의 경우, 다이세이건설의 건축물 실적 데이터를 바탕으로 1996년에 개발한 환경배려 체크시트 '에코시트'와 다이세이 에너지절약계획프로그램 '오로라(aurora)'를 이용하여 운용단계에서의 CO₂ 배출량을 산출하고 있다(大成建設, 2004).

GEM-21P는 HASP(Heating, Air-conditioning and Sanitary engineering Program) 에너지 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 운용단계에서의 CO₂ 배출량을 산출한다. HASP는 공조시스템의 연간 에너지 소비량의 예측을 주목적으로 하는 에너지 시뮬레이션 프로그램으로, 공기조화·위생공학회 및 건축설비기술자협회가 발표하였다. 시미즈건설 뿐만 아니라 다른 건설회사에서도 건축물 에너지부하를 측정하기 위하여 HASP를 많이 이용되고 있다. 동 프로그램은 열부하와 공조 설비의 각 기구 사양, 운전방식, 제어방식을 입력함으로써 각 장치간의 에너지 수지를 비선형방식으로 모델화하여 이를 계산하여 장치의 운전 상태를 파악하고, 시간별 에너지 소비량을 계산한다(岸川, 2008). 그리고 이 결과를 누적하여 일, 월, 연간의 적산치를 출력하게 된다. HASP의 프로그램 개요는 그림 2와 같다.

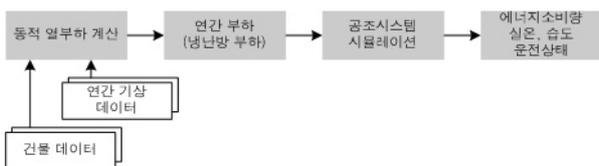


그림 2. HASP 프로그램 개요

4.4 유지관리 및 해체폐기단계

유지관리 및 해체폐기단계의 LCCO₂는 양사 모두 일본건축학회의 방법론(日本建築学会, 2004)을 따르고 있다.

바닥, 벽, 천정 등의 내부마감, 기구, 배관 등의 설비, 지붕, 외벽 등의 외부마감은 15~40년마다 갱신된다. 이에 따른 CO₂ 배출량은 이하와 같이 산정된다.

공사 세부 항목별 개수공사회수(n)

$$n = \left(\frac{\text{평가대상기간(년)}}{\text{건축수명(년)}} \right) \times \left(\frac{\text{건축수명(년)}}{\text{개수주기(년)}} - 1 \right) \text{이 되며,}$$

개수공사의 LCCO₂ 배출량 [kg · CO₂/(년 · m²)]

$$= \sum \left[\left(\frac{\text{공사 세부 항목별 신축공사의 CO}_2 \text{ 배출량(kg·CO}_2\text{/m}^2\text{)} \times n}{\text{평가대상기간(년)}} \right) \times \left(\frac{\text{신축공사의 공통비율을 포함한 CO}_2\text{ 배출량(kg·CO}_2\text{/m}^2\text{)}}{\text{신축공사의 직접공사분 CO}_2\text{ 배출량(kg·CO}_2\text{/m}^2\text{)}} \right) \right]$$

한편, 폐기단계의 CO₂는 개수 및 해체단계에서 발생하는 폐자재 등의 중량을 트럭에 실제로 적재할 수 있는 중량으로 보정한 후, 부지에서 중간처리장 또는 최종처리장까지 운반하는 트럭의 환경부하를 이하와 같이 산정한다.

폐기처분의 LCCO₂ 배출량 [kg · CO₂/(년 · m²)]

$$= \sum \left(\frac{\text{반출중량(t)}}{\text{적재용}} \times \text{운송거리(km)} \times \left(\text{도로화물운송 CO}_2\text{ 원단위(kgCO}_2\text{/t·km)} \right) \right)$$

5. 대상 시스템의 비교분석

5.1 시스템의 흐름 및 구성

GEM-21P는 입력 작업, 선택 작업, 평가결과로 크게 구성되며, 입력 작업은 건축, 구조, 기계설비, 전기설비, 시공 및 해체에 관하여 합계 약 100항목을 입력해야 한다.

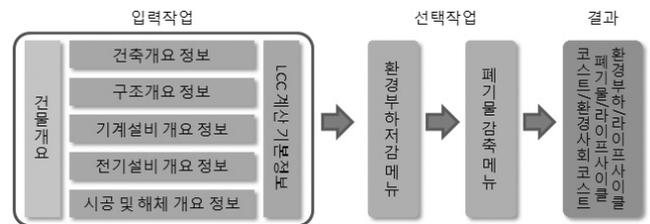


그림 3. GEM-21P의 시스템 흐름

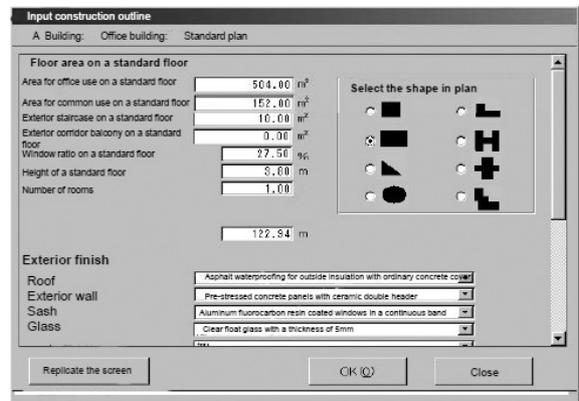


그림 4. GEM-21P의 건축개요 입력화면

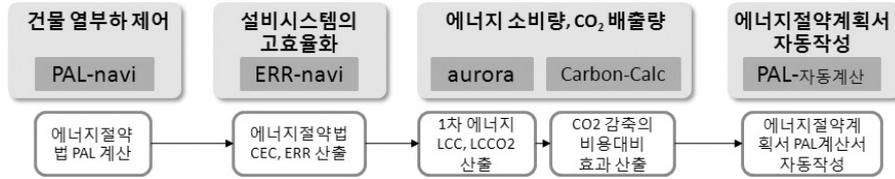


그림 5. Carbon Navigator의 시스템 흐름

GEM-21P에서는 건물기본 정보(부지 위치, 용도, 연면적, 착공년도 등)를 입력한 후, 건축, 구조, 기계설비, 전기설비, 시공 및 해체 각각의 입력 폼마다 각 전문기술자가 병렬적으로 입력이 가능하며, 단시간에 입력 작업이 가능하도록 되어 있다(그림 3, 4). 최종적으로 프로그램은 LCCO₂, LCW, LCC, 환경사회비용의 결과 값을 도출한다.

GEM-21P에서는 건물기본 정보(부지 위치, 용도, 연면적,

GEM-21P가 하나의 시스템으로 구성되어 있는 것에 반하여, Carbon Navigator는 PAL-navi, ERR-navi, aurora, CarbonCalc, PAL-자동계산의 5개의 소프트웨어로 구성되어 있다(그림 5).

1993년에 제정된 ‘에너지 절약법’에 따라 연면적 2,000m² 이상의 건축물은 건물용도(학교, 병원, 사무소 등)마다 PAL¹⁾의 기준치가 정해져 있으며, 용도별 기준치에 규모 보정계수를 곱하여 얻은 값의 이하로 할 필요가 있다.

PAL-navi는 건물, 층수, 방위, 유리종류, 차양 등을 간단히 입력함으로써 정확성 높은 PAL치를 산출하는 프로그램으로 계획단계에서 규제치를 만족하면서 설계하기 위해 개발되었다. ERR-navi는 에너지절약 대책에 의한 CEC²⁾, ERR³⁾을 산정하는 프로그램으로, 설비 시스템의 선택만으로 CEC와 ERR 값이 도출된다. 설비시스템의 에너지 효율화에 대한 값은 다이세이 건설의 통계치를 이용하고 있다. aurora는 에너지소비량, CO₂ 배출량을 간이 산출하는 프로그램으로서 LCCO₂의 간이계산은 이 부분에서 이루어진다. Carbon-Calc는 보다 상세한 LCCO₂를 평가하기 위한 틀이며, 실시단계에서 사용된다. PAL-자동계산은 실시설계가 끝난 후 인허가 기관에 PAL계산서를 제출하기

위해서 개발된 것으로, BIM으로부터 PAL계산에 필요한 정보를 자동 추출하여 계산서가 작성된다.

프로그램의 구성상 두 시스템의 차이를 살펴보면, GEM-21P가 건축물의 환경부하에 초점을 맞추고 있는 반면, Carbon Navigator는 에너지절약 법에 따른 제출서류를 위한 틀과 계획단계에서 에너지절약 방안수립을 위한 LCCO₂ 평가 틀을 통합시스템으로 구축하고 있음을 알 수 있다.

5.2 시스템의 LCCO₂ 계산

GEM-21P의 장점은 계획단계의 한정된 정보 내에서 신속하게 각 부위의 공법별 자재물량을 산출할 수 있다는 점이다. 표 2에서 나타낸 바와 같이 GEM-21P의 부재(部材) 데이터 구성은 1차 부재와 2차 부재⁴⁾의 계층구조(Tree 구조)로 되어 있다. 예를 들면 2차 부재의 ‘아스팔트 방수 외단열, 보통콘크리트 누름’은 1차 부재인 아스팔트, 단열재, 보통콘크리트, 철근, 줄눈재로 구성되어 있다. 이와 같이 구성함으로써 간이평가를 하고자 할 때에는 2차 부재를 선택(그림 6의 B)하면 자동적으로 해당하는 물량이 Default값으로 표시되며, 보다 상세한 값을 입력하고자 할 경우에는 상세항목(그림 6의 C)에서 1차 부재의 물량과 사양을

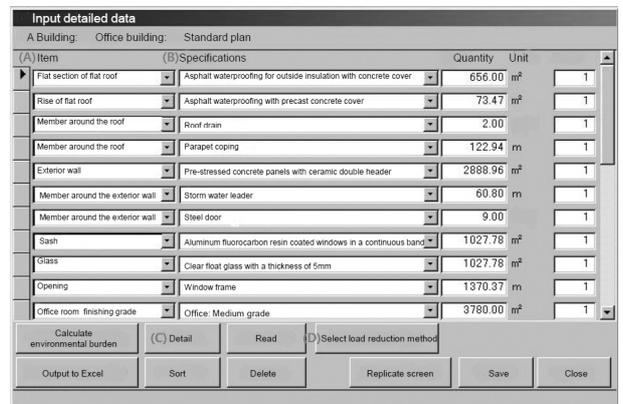


그림 6. GEM-21P 데이터 입력화면

1) PAL(Perimeter Annual Load) : 건축물의 연간 열부하 계수로, 일사량, 건물의 단열성과 내부 발생열량 등으로 변화한다.

2) CEC(Coefficient of Energy Consumption) : 건물 내 에너지를 효율을 나타내는 지표로 효율성이 좋을수록 값이 작다.

3) 에너지 절약법에 의해 개개의 건축설비의 CEC를 통합함과 함께 OA기기 등의 콘센트 소비에너지도 포함하여 건물전체의 소비 에너지를 지수화 한 것

$$EER = \frac{\text{평가건물의 에너지양 합계}}{\text{평가건물의 기준이 되는 일차에너지 소비량}}$$

4) 1차 부재의 조합으로 구성된 공법이나 부위별 사양을 의미하나, 여기에서는 편의상 2차 부재로 표기한다.

수동 입력할 수 있다. 즉, 시스템 내에 연면적당 특정 공법에 소요되는 자재의 물량이 내장되어 있어 1차 부재를 선택하는 것만으로 CO₂ 산출이 가능하다. 그림 6은 각 부위에 대한 2차 부재의 입력화면이다.

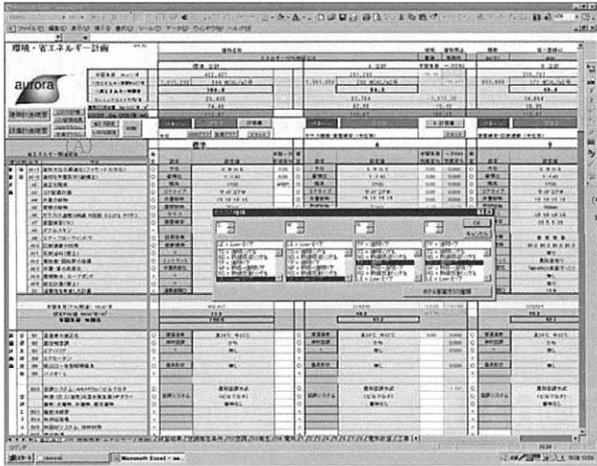


그림 7. aurora 데이터 입력화면

Carbon Navigator의 aurora 계산구조 원리도 GEM-21P과 유사하다. aurora 시스템 내에 공정별 특정 공법에 대한 연면적당 물량, 에너지소비량 등 LCCO₂의 계산에 필요한 기본 데이터가 탑재되어 있어 특정 공법을 선택하면 에너지소비량, 운용비용, LCCO₂량이 실시간으로 나타난다(그림 7). Carbon Navigator도 부재 데이터 구성이 기본적으로 계층구조(Tree 구조)로 되어있다.

양사에서 채용하고 있는 Tree구조는 사용자가 이용하기 쉬운 구조이면서, 간이와 상세평가를 계획단계에서 간단히 할 수 있다는 이점이 있는 것으로 사료된다. 또한 단위물량 정보와 각종 통계데이터를 활용하여 공종별, 공정별 연면적당 자원량을 시스템에 탑재함으로써, 평가 대상건물의 채용된 수법을 Tree 구조의 메뉴에서 선택하는 것으로 물량데이터의 삽입 없이 단시간에 LCCO₂를 산출할 수 있어 계획단계의 에너지절약 대책수립에 유효할 것으로 판단된다.

5.3 친환경건축기술 및 평가결과

두 프로그램 모두 친환경건축기술 메뉴가 시스템 내에 내장되어 있으며, 친환경건축기술을 선택함으로써 에너지 및 CO₂ 감축량을 단시간에 나타낼 수 있다.

GEM-21P는 친환경건축기술 메뉴(그림 6의 D)를 선택하면 운용단계에서의 친환경건축기술과 폐기물 감축메뉴(약 160 종류)가 나타나게 된다(그림 8).

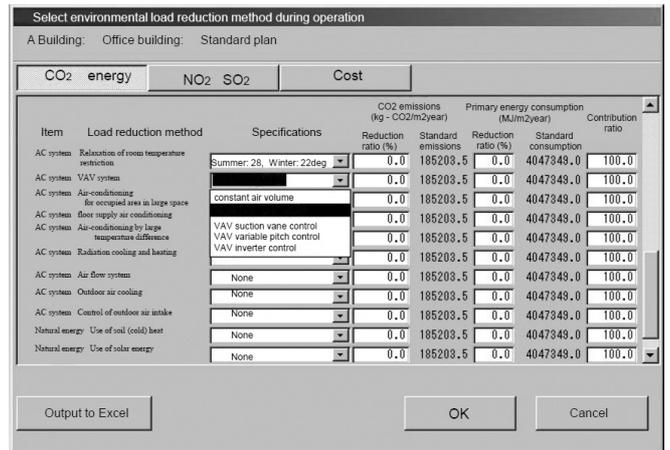


그림 8. GEM-21P 친환경건축기술 메뉴

입력자가 풀다운 메뉴로부터 친환경건축기술을 선택하면 CO₂ 감축률, 1차 에너지 소비량 감축률이 표시되고, 시스템 내부에서 계산이 이루어진다. 각 기술을 채용했을 경우의 감축률은 표준건축물과 대비하여 에너지 시뮬레이션을 통해 구한 값을 데이터베이스화하고 있다. 그림 8에서 기여율은 특정 친환경건축기술이 건물 전체에 영향을 미치는 것인지 부분적인 영향이 있는지를 비율로 나타낸 것이다.

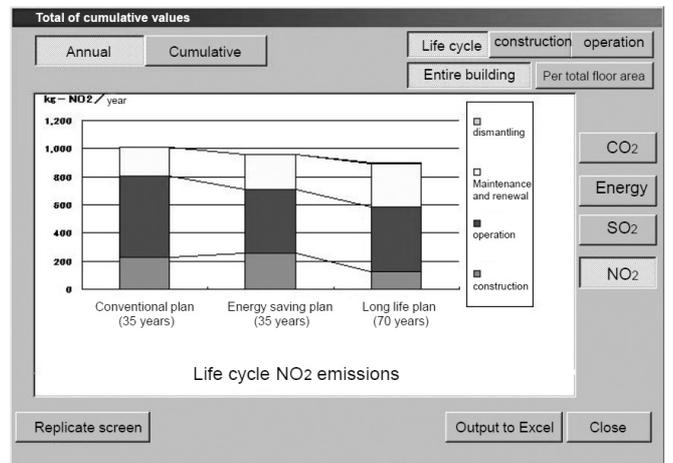


그림 9. GEM-21P의 라이프사이클 환경부하 결과 예

Carbon Navigator의 aurora의 경우 화면 원편(그림 7의 A)에 친환경건축기술이 나열되고, 그 중 하나를 선택하면 그와 관련된 세부항목이 열리게 된다. 예를 들어 유리창을 클릭하면 방위, 유리창의 종류를 선택할 수 있는 창이 열리며, 유리창의 종류에 따른 표준건축 대비 에너지 절감량, 운용비용의 절감량을 실시간으로 확인할 수 있다.

여기에서 주의할 점은 표준건축물의 개념이다. aurora는 표준

건축물의 설정에 있어서, 친환경건축기술이 내재되어 있지 않는 평가대상 건축물을 표준건축물로서 상정하고 있다. 예를 들어 A라는 사무소를 평가하였을 경우, 친환경건축기술이 채용되지 않는 일반적인 건축방식을 A1, 각종 기술이 채택된 것을 A2라 했을 때 A1이 표준건축물로서 A2의 비교기준이 되는 것이다.

aurora에서 채용하고 있는 친환경건축기술의 대분류는 표 5와 같다.

표 5. aurora의 친환경건축기술 대분류 항목

구분	친환경건축기술
구조계	재생 강재, 고로시멘트, 타입(打込) 거푸집, 금속거푸집 패널, 고로시멘트 사용 콘크리트, 고강도 콘크리트, 재생가열 아스팔트 혼합물, 재생골재, 플라잉 애시 시멘트, 철강 슬래그 혼입 노반재, Head-bar 공법
건축계	단열재, 투수성포장, 재생석고보드, 단열재시·도어, 하도용 도로, 원목바닥, 재생 타일 카펫, 파티클 보드, 목질계 시멘트판, 재생도자기 타일, 저휘발성 유기용제형 노면표시 수성도로, 재생재료를 이용한 도장용 블록, 재생비닐계 장판재, 투수성 콘크리트, 제재 제품(진성재, 합판 등), 건물녹화(옥상녹화, 벽면녹화), EPS 혼입 경량토, 태양열 반사도로
설비계	자동수전, 변압기, 태양광발전시스템, 스테인리스 관, 가스온수기, 펌프, 빙축열식 공조기, 박스 덕트, HI 인버터 방식 조명기구, 수세식 좌변기(절수형), 자동세정장치 소변기(절수형), 전기 히트펌프식 공조기, 배수·통기용 재생 경질염화비닐관, 환경배려형 도로조명, 납이 없는 전선·케이블, 가스엔진 히트펌프식 공조기, 송풍기, EM 전선·케이블, 불활성 가스 소화설비

5.4 평가결과

두 프로그램 모두 친환경건축기술의 채용에 따른 건축물의 LCCO₂ 배출량을 표와 그래프로 결과를 나타내고 있다(그림 9).

이와 함께 친환경건축기술에 의한 전 생애 비용을 파악하기 위해서 라이프사이클 코스트를 산정하고 있다.

LCC에 관해서는 간이 계산식과 원단위의 설정에 의해 적은 입력으로 간이 계산이 가능한 시스템으로 되어있다(大塚 외, 2003). 주요한 간이 계산 항목은 표 6과 같다.

표 6. 주요한 LCC 간이 계산 항목

구분	내용
건설시	건설비 연면적×단가 또는 건설비 총액
운영시	운영비 광열비: 에너지사용량×단가
	보전비 관리비, 경비비, 법령 점검비: 연면적×단가
유지관리	수선비 수선분의 적산수량×단가 (매년계상)
	갱신비 갱신분의 적산수량×단가 (내용연수마다 계상)
해체시	해체비(지상, 지하, 기초): 각 면적×해체단가
	폐기물 처리비(최종처분, 중간처리): 처리량×단가

평가대상에 채용하는 친환경건축기술은 기술에 따라 초기비용, 광열비 절감효과 등에 차이가 있기 때문에, 어떠한 기술을 채용하는 것이 최적의 방안인지를 판단할 지표가 필요하다.

GEM-21P에서는 LCC 간이 계산기능과 함께 선택한 복수의 친환경건축기술에 관해서 CO₂ 감축효과를 비교 가능하도록 구성되어 있다(그림 10).

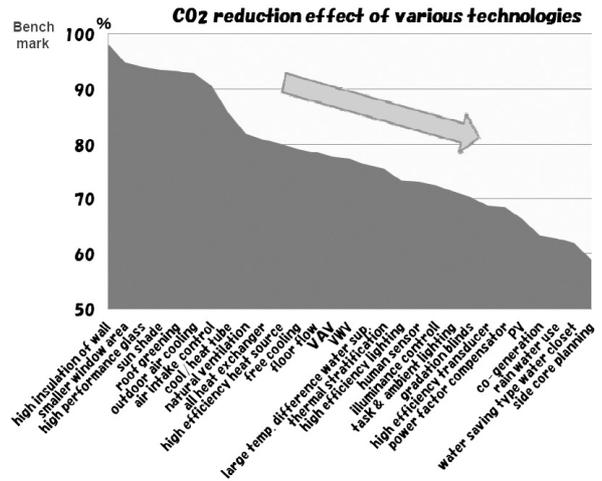


그림 10. 각 대책별 CO₂ 감축효과 예

또한 초기투자비 증가분, 광열비 절감분, 유지관리비 증가분을 산출하여, 복수의 방안에 대해서 비용대비 CO₂ 감축량의 비교검토가 가능하도록 구성되어 있어, 제반 조건에 맞는 친환경건축기술을 선택할 수 있다.

Carbon Navigator에서도 LCC를 고려하여 비용대비 CO₂ 감축효과, 각 대책별 CO₂ 감축효과, 그린전력 및 배출량 거래 값을 평가결과로 제시되어 사용자가 쉽게 친환경건축기술을 선택할 수 있도록 구성되어 있다(표 7).

표 7. 비용대비 CO₂ 감축효과 예

환경부하저감기술	CO ₂ 감축량(A) (kg·CO ₂ /년)	초기 투자비용(B) (천엔)	(B)÷(A) (엔)/(kg·CO ₂ /년)
옥상녹화	1,789	36,045	20,100
고반사 도로	1,789	21,360	11,900
태양광발전	51,531	133,500	2,600
벽면녹화	322	11,400	35,500
세면기 자동 수전화	215	1,795	8,349
여자화장실 의음장치 설치	315	349	1,108
계단조명 인감센서식	1,493	1,556	1,042
공조기 풍량 인버터 제어	61,567	39,490	641
배풍기의 차압 인버터제어	1,785	2,927	1,640
에너지절약 V벨트의 채용	12,420	203	16
인버터 터보 냉동기+빙축열 시스템	46,320	417,004	9,003

5.5 프로그램의 비교

지금까지 계획단계에서 건축물의 LCCO₂를 평가할 수 있는 시스템 구축의 필요요소를 도출하기 위해서 GEM-21P와 Carbon Navigator의 시스템 구조 및 평가방법에 대해서 기술하였으며, 이상을 정리하여 나타내면 표 8과 같다.

GEM-21P는 건축물의 전 생애 환경부하 평가 전용의 프로그램이며, Carbon Navigator는 에너지절약법 기준에 따른 제출서류를 위한 툴(PAL-navi, ERR-navi, PAL 자동계산)과

LCCO₂ 산출(aurora, Carbon-Cal)로 구성되어 있다.

GEM-21P는 기획 및 계획단계에서 설계자가 최적의 친환경 건축기술 도입하거나 고객에게 건축물의 친환경성을 설명하기 위해서 활용되는 것에 반하여, Carbon Navigator는 건축물의 홍보수단이 아닌 설계자가 건축물의 환경부하 저감방안 설정에 이용하기 위해 개발되었다.

두 프로그램 모두 계획단계에서 유용할 수 있는 간이평가와 상세평가 시스템이 존재하지만, 실제 투입물량을 입력한 보다 정밀한 LCCO₂ 산출은 Carbon Navigator (Carbon-Cal)에서만 가능하다. Carbon Navigator는 BIM과 연동되어 있으나, LCCO₂ 평가에 이용되는 것이 아니라 PAL계산서를 제출하기 위해 사용된다. BIM은 실제 투입 자재, 공법 등이 모두 결정되어야 하기 때문에, 계획단계의 간이평가와 연동에는 무리가 있을 것으로 사료된다.

표 8. 프로그램 비교

구분	GEM-21P	Carbon Navigator
간이/상세	간이 및 상세	간이 및 상세
범위	LCCO ₂ , LCNO _x , LCSO _x , LCE	PAL 계산, ERR 계산, LCCO ₂ 평가
자재생산단계	건설공사표준 단위물량 일본건축학회 CO ₂ 원단위	건설공사표준 단위물량 일본건축학회 CO ₂ 원단위
시공단계	건설물가조사회의 건설공사표준 단위물량 이용	건축학회의 용도별 단위 물량 이용
운영단계	HASP 이용	자재 데이터(실적) 이용 HASP는 PAL 계산 시(실시단계) 이용
환경부하저감기술 효과	시미즈 자재 데이터 이용	다이세이 자재 데이터 이용
LCCO ₂ 평가 정밀도	간이평가는 상세평가에 비해서 오 차가 5~10%	-
BIM 연동	연동되지 않음(기획단계에서 BIM 의 이용은 무의미)	연동됨. 그러나 실시단계에서 PAL 계산시 에 이용. 기획/계획단계의 LCCO ₂ 평가에는 이용되지 않음.
프로그램 이용	-기획/계획단계에서 설계자 이용 -고객에게 건축물의 친환경성을 설명하기 위해 이용	-기획/계획단계의 설계자를 위한 프로그램 -법정 제출서류
프로그램 결과내용	-각종 대책별 환경부하의 계산과 감축 -각종 대책별 폐기물의 계산과 감축 -LCCO ₂ 배출량 -LCC의 계산	-PAL 계산서 -ERR 계산서 -각종 대책별 CO ₂ 감축효과 -CO ₂ 배출량 -최적화 -LCCO ₂ 배출량 -LCC의 계산

두 프로그램의 건축물 요소 선택은 공중, 공정별로 Tree구조로 되어 있으며, 재로나 공법을 선택하면 투입물량이 자동적으로 계산되는 시스템을 구축하고 있다.

친환경건축기술의 효과는 두 프로그램 모두 자사의 실적 데이터 통계치를 활용하고 있다. GEM-21P는 운영단계의 환경부하 저감만을 고려하고 있지만, Carbon Navigator의 경우 재료 및

공법에 대한 항목을 다루고 있어 자재생산단계, 시공단계의 저감효과까지 고려하고 있다.

6. 시스템 구축의 필요요소 제안

이상을 종합하여 계획단계에서 활용할 수 있는 LCCO₂ 평가 프로그램 시스템 구축의 필요요소를 제안하면 다음과 같다.

(1) 공사구분별 인벤토리 구축

생애 주기별 CO₂ 배출량 산정을 위해서는 건물의 건설, 운용, 폐기에 에너지가 소모되는 항목의 구축이 선행되어야 한다.

(2) 용도별, 구조별, 공정별 자재 단위물량

계획단계에서는 자재 투입량이 결정되어 있지 않기 때문에 이를 추정할 수밖에 없다. 일본에서는 건설물가조사회에서 발간한 '건설공사표준 단위물량'과 자사의 데이터베이스를 활용하여 단위면적당 자재 투입량을 추계하고 있다. 단위 물량이 구축되면 연면적과 층고 등을 고려하여 간단히 공정별 자재 투입량을 추정할 수 있다. 이를 위해서는 용도, 구조방식에 따른 단위 물량의 데이터베이스 구축이 선행되어야 할 것이다. 단위 물량에 대한 데이터베이스가 구축되면 산업연관분석법을 이용하여 단위 물량에 따른 이산화탄소 배출량을 구할 수 있다.

계획단계에서는 모든 자재를 고려하는 것이 어렵기 때문에 일부 연구자들(이강희, 양재혁, 2009; 태성호 외, 2010)에 의해서 제안된 이산화탄소의 주요 배출자재에 대한 검토도 자재생산단계의 이산화탄소 배출량 산정에 유효한 방법이 될 수 있다.

(3) 시공단계의 에너지 사용량 추정

시공단계에서 에너지 사용량 산정에는 증장비 연료사용, 현장 사무소 전력사용, 자재 반출입의 운반 연료사용으로 구성된다.

시공단계의 증장비 연료 사용량 산출은 작업 소요일수에 증장비 1일 연료소비량을 곱하여 구할 수 있다. 작업 소요일수는 소요물량/1일 작업량으로 산출할 수 있다. 해당 자재의 소요물량은 상기의 단위 물량에 연면적과 층고를 고려하여 산출할 수 있으며, 장비의 1일 작업량은 건설공사 표준품셈을 역산하여 구할 수 있다. 증장비의 1일 연료소비량의 경우는 증장비 업체의 설문 조사를 통하여 데이터베이스화 할 필요가 있다.

현장사무소의 전력사용량은 건설회사의 현장사무소의 전기요금 등 누적된 데이터를 활용하여 건축물의 용도 및 규모(연면적 등)와 에너지사용량과의 관계를 표5에서 나타난 바와 같이 함수식의 형태로 도출할 필요가 있다.

자재 반출입의 소비에너지에 기인하는 CO₂배출 산출은 반출입 자재량, 폐기물량의 운반에 필요한 연료를 반송거리를 가정하여 산출한다.

(4) 운용단계의 에너지 사용량 추정

운용단계는 전 생애 주기에서 가장 많은 CO₂를 배출하기 때문에 보다 정확한 평가수법이 필요하다.

운용단계에서 에너지사용량은 용도별 연면적당 소비에너지의 통계치를 이용하여 함수식으로 도출할 수 있지만, 정밀도가 떨어지기 때문에 에너지 시뮬레이션 프로그램 등을 활용하여 추정하는 것을 권장한다.

(5) 최적의 환경부하 저감안 제시

친환경건축기술에 따른 저감 기술의 비용대비 CO₂ 감축효과, 각 기술별 CO₂ 감축효과 등을 제시하여 사용자가 최적의 환경부하 저감안을 선택할 수 있도록 한다.

7. 결론

국내에서 기 개발된 LCCO₂ 평가프로그램은 실시설계 이후에 자재물량을 직접 입력하는 방식으로 ①계획초기 단계에서 친환경건축기술의 대안설정이 매우 어려우며, ②평가에 상당한 시간과 노력이 요구되는 등, 최적의 환경부하 저감 전략을 입안하는데 한계를 지니고 있었다.

이에 본 연구에서는 계획단계에서 LCCO₂ 평가가 가능한 일본의 GEM-21P와 Carbon Navigator를 분석하여, 계획단계에서 건축물의 기본정보만으로 LCCO₂를 간단하면서 신속하게 평가하고 여러 친환경 대안을 비교 검토할 수 있는 시스템 구축의 필요 요소를 제안하였다.

Tree구조는 사용자가 사용하기 쉬운 구조이면서, 간이와 상세평가를 계획단계에서 간단히 할 수 있다는 이점이 있기 때문에, 계획단계에서 신속한 입력이 가능하기 위해서 기존의 직접 입력방식보다는 Tree 구조의 입력방식이 적합할 것으로 판단된다. Tree 구조 입력방식을 위해서는 공사구분별 CO₂ 배출항목의 인벤토리 구축이 선행되어야 할 것이다.

계획단계에서의 LCCO₂ 평가는 투입 자재량이나 에너지사용량 등을 추정하여 산출할 수밖에 없기 때문에, 정확한 평가를 위해서는 이하의 항목에 대해서 정밀한 원단위 구축이나 유효평가 방법 선정이 요구된다.

- ① 자재생산단계: 건물 유형별 단위면적당 자재 투입량
- ② 시공단계: 중장비의 1일 연료사용량, 단위면적당 현장의 전력사용량
- ③ 운용단계: 기본정보만으로 정밀한 값이 산출되는 에너지시뮬레이션 선택
- ④ 유지관리단계: 건축물 부위별 수선주기 및 수선율
- ⑤ 해체폐기단계: 단위면적당 해체장비 유류소비량, 단위면적

당 반출중량, 운송거리

⑥ 친환경건축기술 도입: 각종 친환경건축기술 도입에 의한 CO₂ 저감 효과 및 비용대비 저감 효과

이상과 같은 원단위 구축이나 친환경건축기술의 환경부하 저감효과 분석은 다수의 선행연구결과를 참조함과 동시에 각 건설사의 특수성을 고려하여 자사의 건축실적 데이터 등을 활용하여 보완하는 작업이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 롯데건설 목적지향형 건축물 전 생애 환경부하(LCCO₂) 평가 프로그램 개발 연구결과의 일부입니다.

또한 본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. (과제번호: R11-2005-056-01003-0)

참고문헌

국토해양부 (2009), 녹색도시 · 건축물 활성화 방안
 노승준, 태성호(2010), 건축물 전 생애 환경부하(LCCO₂) 평가 프로그램 개발에 관한 연구, 대한건축학회 제6회 우수졸업 논문전 수상논문 개요집 제 6권 제 1호, pp.101-104
 송상훈(2010), 건축물 시공단계에서의 온실가스 배출 관리 방안, 한국생태환경건축학회논문집, Vol.10, No. 5, pp.139-150
 이강희, 이경희(1996), “건축활동에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산정”, 대한건축학회논문집, 제 12권, 제 7호, pp.197-205
 이강희 (2003), “공동주택 건설공사에서의 공중에 대한 LCA적용 연구 -에너지, 이산화탄소, 황화합물 등의 목록분석을 중심으로-, 대한건축학회논문집 계획계 제 19권 2호, pp.27-36
 이강희, 양재혁(2010), “주요 건축자재의 에너지소비와 이산화탄소 배출원단위 산정 연구”, 대한건축학회논문집, 제 25권 제 6호, pp.43-50
 이승연 (2001), “건축물의 LCA(Life Cycle Assessment) 기법”, 한국그린빌딩협회의 춘계학술강연회 논문집, 한국그린빌딩 협의회, pp.1~20
 정보라, 이하식, 최영오, 이강희 (2008), “전과정평가를 이용한 공동주택의 에너지소비량과 이산화탄소 배출량 산정”, 한국주거학회 학술발표대회 논문집 2008 Vol.1 (춘계), pp.235-240
 태성호, 우지환, 노승준, 신성우 (2010), “공동주택의 전 생애주

- 기 이산화탄소(LCCO₂) 간이평가 기법에 관한 연구”, 대한 건축학회논문집, 제 26권, 제 8호, pp.37~44
- 한국건설기술연구원(2002), 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램개발연구, pp161~217
- 시미즈 건설 홈페이지, <http://www.shimz.co.jp>
- 다이세이 건설 홈페이지, <http://www.taisei.co.jp>
- 大塚俊裕 鈴木道哉 矢川明弘(2003) “建築物のLCA支援ツールの開発. その2 廃棄物 ライフサイクルコスト計算” 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.1025-1026
- 岸川宏(2008) “エネルギーシミュレーションプログラムの比較” 総合設備コンサルタント 技術年報 Vol. 33, pp.33-37
- 建築業協会 (2003) “LCA 専門部会活動報告書”, 建築業協会
- 鈴木道哉 大塚俊裕 矢川明弘(2003) “建築物のLCA支援ツールの開発. その1 概要. インベントリ計算” 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.1023-1024
- 大成建設(2004) “大成建設 環境・社会報告書”, 大成建設
- 日本建築学会(2004) “シリーズ地球環境建築・専門編3 建築環境マネジメント” 彰国社
- BASIX Homepage, <http://www.basix.nsw.gov.au>
- Grace K.C. Ding(2008), “Sustainable construction-The role of environmental assessment tools”, Journal of Environmental Management, Vol.86, pp.451-464
- Junnila S., Horvath A., and Guggemos A.S(2006), “Life-Cycle Assessment of Office Buildings in Europe and the United States, Journal of Infrastructure systems, Vol. 12, No. 1, pp.10-17

논문제출일: 2010.09.09
 논문심사일: 2010.09.17
 심사완료일: 2011.03.10

Abstract

The LCCO₂ evaluation programs previously developed in Korea involve limitations in establishing strategies of reducing environmental loads to optimal level in a way to put in materials directly after designing. Therefore, this study has the purpose to extract and propose elements required for the establishment of highly accurate system by counteracting swiftly in a method with high energy efficiency over cost at planning stage.

To that end, existing LCCO₂ evaluation programs in Korea and abroad were compared and analyzed, and in the planning stage, GEM-21P and Carbon-navigator intended for the establishment of building energy performance improving strategy were selected as the evaluation program for survey. On such basis, after comparison and analysis between LCCO₂ calculating methods and system structures of the two programs, elements required for system establishment that can evaluate life-cycle environmental loads of building in planning stage were proposed.

Keywords : LCCO₂, Evaluation Program, Planning Stage, GEM-21P, Carbon-Navigator
