

LCA개념을 도입한 학교시설 녹색건축인증기준 개선방향에 관한 연구

A Study on the Improvement of the School Green Building Certification System based on Life Cycle Assessment Methodology

이 재 옥* 김 성 중** 이 상 민*** 이 승 민****
Lee, Jae-Ok Kim, Sung-Joong Lee, Sang-Min Lee, Seung-Min

Abstract

The purpose of this study is to suggest the way how to improve the school green building certification system based on life cycle assessment methodology and to assess LCCO₂ in outline.

Green Building Certification System for School is comprised of 7 categories and 39 items. 7 categories include Land use and Transport, Energy and Atmosphere, Materials and Resources, Water, Management, Ecology, Indoor environmental quality.

School is a public facility for students. So Green Building Certification System for School must have educational point of view adding to energy saving, reduction of greenhouse gas emission, etc. Also it needs to be classified into three categories ; kindergarten, elementar/middl/high school and university.

Improvement plans for items are as follows ; energy consumption and LCCO₂ assessment considering life cycle, deletion or integration of duplicate items by comparing other systems, application of passive solar systems, consideration of the law and standards change, and selection of items considering specific building use.

키워드 : LCA, 학교시설, 녹색건축인증기준

Keywords : Life Cycle Assessment, School, Green Building Certification System

1. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

건축물의 생애주기를 고려한 에너지소비량 절감과 이산화탄소 배출 절감은 전 세계가 당면한 과제이며, 이러한 문제해결을 위한 노력의 일환으로 미국, 영국, 일본 등에서는 각 국가의 실정에 맞는 녹색건축물 인증제도를 마련하여 시행하고 있다. 우리나라도 2002년부터 친환경건축물 인증제도를 시행하고 있으며, 2013년 2월 23일부터 '녹색

건축물 조성지원법'이 시행되면서 '녹색건축 인증제도'라는 새로운 명칭을 사용하고 전반적인 개정작업을 시작하였다. 국내 인증제도 시행초기에는 인증실적이 저조하였으나 인센티브 마련, 친환경건축물에 대한 인식 확대, 인증기준 개정, 인증대상 확대 등을 통해 2012년 12월말 기준으로 3,199건의 예비인증 및 본인증 실적을 나타내었다. 그 중 학교시설이 1,275건으로 약 40%를 차지하고 공동주택이 1,127건으로 약35%를 차지하고 있어, 2002년에 시행된 공동주택 인증기준에 비해 학교시설 인증기준은 2005년에 시행된 것을 감안할 때 학교시설의 친환경화 확산속도를 짐작할 수 있다.

학교시설의 경우 학생들의 교육을 위해 사용하는 공간으로 사회적 공공성이 매우 강한 건축물이라는 특수성을 반영할 뿐만 아니라 법률 및 기준변경 고려, 건축물의 친환경 수준 향상, 학교급별 특성 등을 고려하여 녹색학교의

* 정회원, (사)한국교육환경연구원 녹색건축센터장

** 정회원, (사)한국교육환경연구원 기획관리국장

*** 정회원, (사)한국교육환경연구원 연구본부장

**** 정회원, (사)한국교육환경연구원 연구부장, 교신저자
(smlee01@hanmail.net)

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(12CHUD-C060349-02-000000)에 의해 수행되었습니다.

양적증가 뿐만 아니라 질적향상을 꾀할 필요가 있다.

기존의 건축물 LCA평가 관련 연구는 LCCO₂ 배출량을 산출하는 방법론에 관한 것이 대부분이며 한국건설기술연구원에서 연구한 건축물 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발연구(2004)의 경우 LCA기법에 의해 평가 혹은 대체가 가능한 평가항목을 도출하였으나 학교시설과 관련된 구체적이고 실질적인 LCA 평가항목의 도출에 대한 연구성과는 없는 실정으로 본 연구에서는 국내외 녹색건축물 인증제도 및 평가항목의 비교, 분석을 통해 LCA 개념을 도입한 학교시설 녹색건축인증기준의 개정방향을 모색하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 LCA개념을 도입한 학교시설 녹색건축물 인증제도의 개선방향 제안을 위해 첫째, 녹색학교의 개념, LCA 개념 및 방법론을 재정립하였다. 둘째, 국내외 녹색건축물 인증기준의 현황과악 및 평가항목을 비교분석하였다. 셋째, LCA 개략평가를 위한 평가범위, 평가방법을 설정하고 LCA평가항목 및 기타 개정 필요한 평가항목을 제안하였다.

국내 인증기준은 2013년 1월 16일 입법예고된 학교시설 인증기준, 국외 인증기준은 미국의 LEED2009, 영국의 BREEAM2011, 일본의 CASBEE2010, 호주의 GREEN STAR (Education), SBTTool2012, 홍콩의 BEAM Plus NB 1.2를 대상으로 분석하였다.

2. 녹색학교의 개념 및 건축물의 LCA 개요

2.1 녹색학교의 개념 및 학교시설의 특성

녹색건축물은 에너지이용 효율 및 신·재생에너지의 사용비용이 높고 온실가스 배출을 최소화하는 건축물¹⁾로 정의되고 있다. 그리고 녹색건축물 조성의 기본원칙은 온실가스 배출량 감축, 환경친화적이고 지속가능, 신재생에너지 활용 및 자원절약, 기존건축물의 에너지효율화, 계층간 및 지역간 균형성 확보이다.²⁾

녹색학교는 이러한 녹색건축물의 개념이 적용된 학교시설로 친환경학교, 생태학교, 에코스쿨, 그린스쿨, 지속가능한 학교 등 여러 가지 용어로 사용되고 있다. 녹색학교는 환경적, 물리적 요소와 운영 및 활용요소로 구분할 수 있으며, 환경을 고려한 배치계획, 신재생에너지 이용, 자연광의 이용, 환경친화적인 재료와 공법의 사용, 수자원의 보

1) 저탄소녹색성장기본법 제54조(녹색건축물의 확대)
2) 녹색건축물 조성지원법 제3조(기본원칙)

존, 옥내외 녹지공간 조성 등이 도입된 학교이다.³⁾

학교시설은 교육의 목적을 효과적, 능률적으로 달성하기 위해 설치한 물리적 환경을 총칭하는 것으로 단순히 교사와 학생을 수용하는 건축물만을 지칭하는 것은 아니며 학교전체가 교육의 매체이자 도구이면서 학생의 성장과 발달을 촉진하는 생활환경을 포괄하는 개념이라고 할 수 있다.⁴⁾따라서 녹색건축 인증기준 설정시 일반건축물과 달리 건축물의 물리적 조건 뿐만 아니라 교육적 효과를 고려한 기능적 특성이 고려되어야 한다.

2.2 건축물의 LCA

가) 건축물 LCA의 정의

건축물에 있어 LCA(Life Cycle Assessment)는 자원의 채취단계에서부터 건설자재의 생산, 자재의 수송단계, 건축물의 시공단계, 사용유지단계, 해체 및 폐기단계에 이르기까지 건축물의 전생애주기와 관련된 환경부하와 잠재적 환경영향을 투입물과 산출물의 목록화 및 영향평가, 결과의 해석 등을 통해 파악하는 일련의 과정으로 볼 수 있다.⁵⁾ LCA는 CO₂를 포함한 6대 온실가스 및 기타 오염물질을 대상으로 하고 있으나, 본 연구에서는 LCA를 CO₂ 배출량으로 범위를 한정하여 검토하도록 한다.

나) 건축물 LCA의 평가방법

LCA 평가방법은 개별적산방법과 산업연관분석법이 있다. 개별적산방법은 설계도서, 견적서 등으로부터 제조공정, 소재 등으로 구분하여 각각의 제품이 어떻게 제조되어 폐기되는지를 제품마다 조사하는 방법으로 주로 제품의 LCA에 이용된다. 그리고 산업연관분석법은 각 산업에서 생산된 재화 및 서비스가 다른 산업의 생산을 위한 원재료로 투입되는 산업 간의 상호 연관관계를 수량적으로 평가하고자 하는 분석방법으로 환경부하를 종합적으로 파악할수 있고 계산시간이 짧은 장점을 가진다.

다) 건축물 LCA 평가

건축물의 LCA 평가시 건축물의 전생애는 건설단계, 운용단계, 철거단계로 구분된다. 건설단계는 건축자재 생산, 운송, 시공단계로 구분되고, 운용단계는 운영에너지 사용, 유지관리 단계로 구분된다. 그리고 철거단계는 해체 및 폐기단계로 구분된다. 각 단계별 에너지 소비량 및 자재물량

3) 이호진, 학교건축계획, (사)한국교육환경연구원, 2009, p.239
4) 남경걸, 교육행정 및 교육경영, 서울:교육과학사, 2012, p.362~363
5) 차기욱, LCA기반에 의한 건설폐기물 종류별 CO₂ 발생량 산출과 환경비용 산정에 관한 연구, 경북대학교대학원 석사논문, 2011.

Table 1. Evaluation stage and method of LCA

평가단계	평가방법	
건설 단계	건축자재 생산단계	투입자재물량×단위환산×자재별 CO ₂ 원단위
	건축자재 운송단계	자재운반에 필요한 에너지사용량×에너지원별 CO ₂ 원단위
	건축자재 시공단계	건설장비 사용에 필요한 에너지사용량×에너지원별 CO ₂ 원단위
운영 단계	에너지 사용	운영에너지 사용량×에너지원별 CO ₂ 원단위 (신재생에너지 포함)
	유지관리	수선·보수가 요구되는 자재물량×단위환산×자재별 CO ₂ 원단위
철거 단계	해체단계	건설폐기물발생량×단위무게당 에너지소비량×에너지원별 CO ₂ 원단위
	폐기단계	건설폐기물 운반에 필요한 에너지사용량×에너지원별 CO ₂ 원단위

에 대한 에너지원별 혹은 자재별 CO₂원단위를 이용하여 산출되며, 평가단계별 평가방법은 <표 1>과 같다.⁶⁾

위의 일반적인 평가단계 이외에 수자원 및 생활폐기물에 의한 CO₂배출량을 고려하고, 그 양이 상대적으로 작기는 하나 수목에 의한 탄소상쇄량도 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 녹색건축인증제도의 취지를 고려하여 전체 CO₂ 배출량에서 차지하는 비중 및 평가타당성 등을 고려하여 학교시설의 LCA평가에 중요하게 고려해야 할 평가항목 설정방향을 제시하고자 한다.

2.3 국내외 녹색건축인증제도 개요

녹색건축 인증제도는 건축물의 에너지 및 자원의 절약, 오염물질 배출감소, 주변 환경과의 조화, 건강 및 쾌적 등 환경에 미치는 요인을 평가하여 건축물의 친환경성을 인증해주는 프로그램이다.

미국, 영국, 일본 등 여러 국가에서는 각 국가의 실정에 맞는 인증기준을 개발하여 시행하고 있으며, 우리나라도 2002년에 친환경건축물 인증제도를 도입하여 건물용도 대

상범위를 순차적으로 확대하였다.

<표 2>는 국내 녹색건축 인증제도를 포함하여 7개 인증제도에 대한 개요를 나타낸 것이며, 모두 학교시설에 대해 별도로 언급하고 학교특성을 고려한 평가항목을 포함하고 있다. 또한 미국의 LEED는 현재 2009버전이 사용되고 있으며 새로운 v4 버전에 대한 개정작업이 진행중에 있다. v4 버전에 대해서는 평가항목(안)이 제시되어있으나 구체적인 평가방법이 제시되지 않았다. 따라서 개요 및 전반적인 평가항목 비교시 2009버전을 이용하고 LCA 관련 항목 분석시 v4 버전을 함께 검토하도록 한다.

3. 국내외 학교시설 녹색건축 인증기준의 평가항목 비교분석

국내외 학교시설 녹색건축 인증기준의 평가항목을 비교 분석 하기 위해 현재 국내에서 사용하고 있는 7개 평가분야(토지이용 및 교통, 에너지 및 환경부하, 재료 및 자원, 물순환관리, 유지관리, 생태환경, 실내환경)를 기준으로 외국 인증기준의 평가항목을 재분류하였다.

3.1 국내외 학교시설 인증기준 공통항목

국내외의 7개 학교시설 인증기준의 평가항목을 비교하여 5개 이상 기준에서 공통으로 포함하고 있는 항목을 검토하여 <표 3>에 정리하였다.

국내외의 학교시설 인증기준에서 공통적으로 포함하고 있는 평가항목은 23개 항목으로, 토지이용 및 교통, 에너지 및 환경부하, 실내환경 분야에서 많은 공통항목을 포함하고 있다. 그리고 기존대지의 생태학적 가치, 물사용량 절감, 실내공기질 항목은 7개 기준 모두에서 평가하고 있는 공통항목이다. 23개 항목 중 국내 기준에서 평가하고 있지 않는 항목은 주차용량제한, 빗곰해 저감, LCCO₂ 평가, 건

Table 2. Outline of domestic and foreign green building certification system

구분	우리나라	미국 LEED 2009	영국 BREEAM2011	일본 CASBEE2010	호주 Green Star	SBTool2012	홍콩BEAM NB 1.2
개발자	국토해양부, 환경부	미국그린빌딩 협의회(USGBC)	건축연구소 (BRE)	국토교통성	호주그린빌딩 협의회(GBCA)	GBC (Green Building Challenge)	홍콩그린빌딩협의회 (HKGBC)
개발연도	2002년	1997년	1990년	2002년	2003년	1998년	2010년
건물용도 구분	공동주택, 소형주택, 업무용, 복합건축물 주거, 학교, 판매시설, 숙박시설, 그밖의건축물	문화집회시설, 호텔, 판매시설, 주거시설, 학교, 단독주택, 다가구주택, 병원 및 의료 시설	상업건물(업무, 산업, 판매), 공공건물(교육시설, 의료시설, 감옥, 법원), 복합주거, 그밖	비주거(업무시설, 학교, 판매시설, 식당, 강당, 공장), 주거(병원, 호텔, 아파트)	공공건물, 산업건물, 교육시설, 병원, 컨벤션센터, 판매시설, 공동주택, 업무용건물	단독주택, 호텔, 도서관, 업무용건축물, 학교, 식당, 소매점, 슈퍼마켓, 쇼펍센터, 극장, 로비 및 주차장	주거, 상업건물, 산업 건물 등 모든 용도 건물

6) 김태형 외 1인, 철근 콘크리트 건축물의 LCA 평가에 관한 기초적 연구, 대한건축학회논문집, 2009. 4.

Table 3. Common items of domestic and foreign green building certification criteria for school

분야	평가항목	항목포함 기준 수	국내기준 포함여부
토지이용 및 교통	기존대지의 생태학적 가치	7개 기준	○
	대중교통에의 근접성	5개 기준	○
	자전거보관소	6개 기준	○
	주차용량 제한	5개 기준	×
에너지 및 환경부하	빛공해 저감	6개 기준	×
	에너지 성능	5개 기준	○
	모니터링	6개 기준	○
	조명에너지 절약	6개 기준	○
	신재생에너지 이용	5개 기준	○
재료 및 자원	LCCO2 평가	6개 기준	×
	오존파괴물질 사용 금지	6개 기준	○
	재활용자재 사용	6개 기준	○
	건물 재사용	6개 기준	○
물순환관리	건설폐기물 관리	5개 기준	×
	물사용량 절감	7개 기준	○
	우수이용	6개 기준	○
유지관리	중수도 설치	6개 기준	○
	커미셔닝	5개 기준	○
실내환경	실내공기질	7개 기준	○
	자연환기 확보	6개 기준	○
	소음	6개 기준	○
	주광제어	5개 기준	○
	일조	5개 기준	×

설폐기물 관리, 일조 항목으로 국내기준에의 적용가능성을 검토해 볼 필요가 있다.

3.2 LCA 평가 관련 항목

국내의 7개 학교시설 인증기준에서 LCA 관련 항목을 검토하여 <표 4>에 정리하였다.

LCA 관련 항목은 항목명에 LCCO₂ 혹은 LCA를 직접 언급하고 있는 항목을 직접평가항목으로 분류하고, 항목명에 직접 언급하고 있지는 않으나 LCCO₂량에 영향을 미치는 항목을 간접평가항목으로 분류하였다.

직접평가항목은 다시 두 가지 경우로 분류하였다. LCCO₂량을 시뮬레이션을 통해 직접 산출하거나 산출값을 기준값과 비교하여 절감량을 평가하는 항목과, LCCO₂량을 직접 산출하지 않고 LCCO₂량에 큰 영향을 미치는 요소를 간단히 대체 평가하는 항목으로 구분하였다.

우리나라 기준은 직접평가항목이 없고 자재, 운영에너지, 수자원, 생태분야에 간접평가하는 항목을 포함하고 있다. 그 외 모든 외국 인증기준에서는 직접평가항목을 포함하고 있으며, 운영에너지 및 자재 관련 LCCO₂량을 평가하고 있다.

Table 4. LCA items of domestic and foreign green building certification criteria for school

분야	평가항목	LCCO ₂ 직접평가		LCCO ₂ 간접평가	
		직접 산출	대체 평가		
우리나라	재료의 탄소배출량 정보 표시			○	
	에너지 성능			○	
	조명에너지 절약			○	
	신재생에너지 이용			○	
	생활용상수절감대책 타당성			○	
LEED v4	우수이용, 중수도 시설			○	
	생태면적율			○	
	건물재사용과 전체 건물 자재 관련 LCA	○			
	에너지 성능			○	
	신재생에너지 이용			○	
	물사용량 절감			○	
	우수이용			○	
	열섬효과 방지			○	
	CASBEE 2010	시공 관련 CO ₂ 배출		○	
		보수, 갱신, 해체 관련 CO ₂ 배출		○	
운영에너지 관련 CO ₂ 배출		○			
물적약 시스템				○	
우수이용, 중수도 시설				○	
생물환경 보전				○	
SBTool 2012	열섬효과 방지			○	
	자재의 추출, 제조, 수송 관련 온실가스 배출	○			
	자재의 유지관리, 교체 관련 온실가스 배출	○			
	운영에너지 관련 온실가스 배출	○			
	교통수단 관련 온실가스 배출		○		
	물사용량 절감			○	
	우수이용, 중수도 시설			○	
	탄소제거 관련 식재			○	
BEAM NB 1.2	열섬효과 방지			○	
	건물 구조체의 내재에너지 평가	○			
	운영에너지 관련 CO ₂ 배출	○			
	신재생에너지 이용			○	
	물사용량 절감			○	
BREEAM 2011	우수이용, 중수도 시설			○	
	운영에너지 관련 CO ₂ 배출	○			
	주요 자재 LCA 평가	○			
	저탄소 기술			○	
Green Star	물사용량 절감			○	
	우수이용, 중수도 시설			○	
	운영에너지 관련 CO ₂ 배출	○			

LEED는 2009버전에는 직접평가하는 항목이 없으나 v4 버전에서는 자재 관련 LCA평가항목이 포함될 예정이며, 구체적인 평가방법이 제시되지 않아 직접평가항목으로 예

측하고 검토하였다. CASBEE는 운영에너지 관련 항목은 직접평가항목으로 분류되나 자재 관련 항목은 직접 산출하지 않고 대체항목으로 평가하고 있다. 자재의 시공 관련, 보수·갱신·해체 관련 평가에 대해 구조체 내구연한, 재사용 여부, 재활용자재 사용 여부를 평가하여 LCCO₂량과 연계시켜 판단한다.

SBTool은 자재와 관련하여 추출·제조·수송과 유지관리·교체로 구분하여 LCCO₂를 평가하고 있으며, 타 기준에서는 평가하지 않는 교통수단과 관련하여 개인차량 이용에 따른 LCCO₂ 배출영향을 평가하고 있다.

BEAM은 자재와 관련하여 구조체에 대해서만 프로그램을 이용하여 직접평가하고 있다. 그리고 BREEAM은 운영에너지와 외벽, 창, 지붕, 슬라브, 내벽, 바닥마감재 등 주요 자재에 대한 LCCO₂를 직접평가하고, Green Star는 운영에너지에 대해서만 직접평가하고 있다.

간접평가항목은 LCCO₂량을 직접 산출하기는 어려우나 배출량에 영향을 미치는 열섬효과 방지, 저탄소 기술과 같은 항목과, 수자원 관련 항목, 신재생에너지 이용시설 및 생태환경 등의 탄소상쇄 관련 항목과 같이 CO₂ 원단위를 이용하여 산출가능한 항목이 있다.

3.3 학교시설 관련 특정 평가항목

국내의 7개 학교시설 인증기준에서 학교시설 관련 특정 평가항목과 학교급별 구분 여부를 검토하여 <표 5>에 정리하였다.

학교시설 관련 특정 평가항목은 교육관련, 시설관련, 먼

Table 5. School-related specific items

분야	평가분야	학교시설 특정 평가항목	학교급별 구분 여부
우리나라	에너지 및 환경부하	운동장 먼지발생 방지	-
	유지관리	보행시에 발생하는 먼지배출량 감소	
	생태환경	표토재활용	
		생태학습원 조성	
LEED	토지이용 및 교통	부지의 마스터플랜	-
		시설의 복합화	
	기타	학습의 장으로서의 학교시설	
CASBEE	에너지 및 환경부하	모래 및 먼지	초, 중, 고/대학교로 구분하여 평가기준 적용
Green Star	유지관리	자원에 대한 교육	-
BREEAM	-	-	유치원/초, 중/고등/대학교로 구분하여 적용

지발생관련 항목으로 분류할 수 있다. 교육 관련 평가항목은 우리나라, LEED, Green Star 기준에서 포함하고 있고, 먼지발생 관련 평가항목은 우리나라와 CASBEE에서 포함하고 있다. 시설 관련 평가항목은 LEED에서 부지의 마스터플랜과 시설복합화 관련 항목을 평가하고 있어 국내 기준의 적용가능성을 검토할 필요가 있다.

그리고 우리나라, LEED, Green Star는 평가기준을 학교급별로 구분하고 있지 않으나, CASBEE는 초·중·고등학교와 대학교로 구분하여 적용하고 있다. BREEAM은 학교시설 특정 평가항목은 없으나 유치원, 초·중학교, 고등학교, 대학교로 구분하여 평가기준을 적용하고 있다.

4. LCA 개념을 도입한 학교시설 녹색건축 인증 기준 개정안

4.1 LCA 개념을 도입한 평가항목 도출

가) LCA 평가범위 및 적용방법 설정

LCA의 평가범위는 각 연구의 목적에 따라 다소 다르게

Table 6. Items of building LCCO₂ assessment system

단계 구분	평가 대상	전문가의견내역		평가 항목 검토		
		A자문 위원	A자문 위원			
생산 단계	건축자재 생산과정	내재온실가스	필수	필수	○	
계획 및 시공 단계	건축자재 운송과정	에너지	필수	필수/고려 가능	○	
		현장	필수	필수/고려 가능	○	
	폐기물	에너지	필수	부적합	▲	
사용 단계	에너지 사용과정	에너지	필수	필수	○	
	건축물 수자원 사용과정	상수	에너지	필수	고려가능	▲
		오수	에너지	필수	부적합	▲
	생활폐기물 발생량	에너지	부적합	부적합	-	
	보수자재 생산과정	내재온실가스	필수	필수	○	
	보수자재 운송과정	에너지	필수	필수/고려 가능	▲	
	건축물 유지보수	에너지	필수	필수/고려 가능	▲	
폐기 단계	건축물 해체과정	에너지	필수	필수	○	
	폐기물 운송과정	에너지	필수	필수	○	
	폐기물 중간처리	에너지	고려가능	필수	○	
	폐기물 매립과정	에너지	필수	필수	○	
		에너지	필수	부적합	▲	
탄소 상쇄	폐기물 소각과정	소각가스	필수	부적합	▲	
		신재생에너지	에너지생산	필수	필수	○
	수목	온실가스흡수	고려 가능	부적합	-	

주) ○ : 적용, - : 미적용, ▲ : 적용검토중

자료 : 한양대학교, 녹색건축물 활성화를 위한 온실가스 배출량 평가 및 통합인증시스템 구축, 건축물 전과정 온실가스 평가프로그램 개발연구 중간보고서, 2013, p.10

Table 7. Percentage of CO₂ emissions by step for school

CO ₂ 배출 비율	건설단계	운영단계	철거단계	합계
평균	24.73%	75.26%	0.01%	100%

Table 8. The scope of Life cycle assessment

평가단계		평가내용	LCA 평가	
건설	건축자재 생산단계	자재사용량	○	
	건축자재 운송단계	운송에너지	×	
	건축자재 시공단계	시공에너지	×	
사용	에너지 사용과정	운영에너지	○	
	수자원 사용과정	수자원 사용량	○	
	생활폐기물 발생과정	생활폐기물 발생량	○	
	유지관리	자재생산	자재사용량	○
		자재운송	운송에너지	×
		자재시공	시공에너지	×
	탄소상쇄	신재생에너지, 수목	○	
철거	해체/폐기단계	해체폐기에너지사용량	×	

설정될 수 있는데 본 연구에서는 국토교통부 연구과제(녹색건축물 활성화를 위한 온실가스 배출량 평가 및 통합인증시스템 구축)를 통해 한양대학교에서 개발 중인 건축물 전과정 온실가스 평가·관리 프로그램의 평가범위를 기반으로 하여 녹색건축인증에서의 평가필요성을 고려하여 설정하도록 하였다.

현재 개발 중인 건축물 전과정 온실가스 평가·관리 프로그램에서는 각 단계별로 아래 표와 같이 평가항목설정을 고려하고 있다.

건축물의 전생애과정의 온실가스 배출량 평가는 가능한 많은 배출요소를 평가하는 것이 바람직할 것이나 녹색건축인증의 주요한 취지 중 하나인 평가용이성을 고려할 때 녹색건축인증제도에서 탄소배출과 관련된 모든 대상에 대해 평가하도록 하는 것은 매우 어렵다고 할 수 있다.

자재생산단계에 비해 자재 운송단계나 시공단계의 에너지 사용량 등은 LCA에서 차지하는 비중이 상대적으로 매우 작으며(운송, 시공단계에너지 0.9%, 해체폐기단계 0.03% 등)⁷⁾ 자재사용량이나 건물의 규모에 따라 달라지는 요소라고 할 수 있을 것이므로 자재사용량과 관련된 평가를 통해 간접평가하는 것이 바람직할 수 있다.

<표 7>은 초, 중, 고등학교의 단계별 CO₂배출량 평균비율을 나타낸 것으로⁸⁾, 운영단계가 약75.26%로 대부분을 차지하고 있고 철거단계는 약0.01%로 적은 비중을 차지하

7) 이강희, 공동주택의 라이프사이클에너지와 이산화탄소추진에 관한연구, 한국주거학회논문집 제9권4호, 2008, p.89-96
8) 이호진, 행복도시 미래형 선진 학교모델 개발 및 09년 착수 9개교 RFP 수립 연구용역, 2009, p.221.

Table 9. Main materials emitting CO₂ for office

구분	레미콘	철강재	철근
A사무소 건물	57.9%	14.8%	7.89%
B사무소 건물	57.16%	18.41%	14.1%

Table 10. LCA result for S city hall(40years life cycle)

구분	CO ₂ 배출량(tCO ₂)	비율		
에너지 소비(신재생 고려)	196,188	74.3%		
자재 생산, 시공	58,145	22.1%		
폐기물	생활폐기물	2,082	5,378	0.8%
	시공, 해체폐기물	3,296		1.2%
수자원(상수, 오수, 중수)	4,311	1.7%		
수목	-387	-0.1%		
합계	263,865	100%		

고 있어 철거단계를 별도로 평가하지 않아도 큰 무리가 없는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 개발 중인 온실가스평가관리프로그램의 평가항목과 기존 연구에서의 분야별 탄소배출비율을 고려하여 아래 <표 8>과 같이 평가단계별로 LCA평가범위를 설정하도록 한다.

또한 자재 관련 평가시 수많은 건축자재 모두에 대한 정보수집이 어려우므로 비중을 많이 차지하는 주요 자재를 대상으로 하고자 한다. 사례연구에 의하면 3개 정도의 재료가 전체의 80% 이상의 비중을 차지하고 있으며⁹⁾, <표 9>는 주요자재별 탄소배출 비율을 나타낸 것이다.

일본의 CASBEE에서는 자재의 온실가스 배출량을 직접 산출하지 않고 건물재사용, 재활용자재 사용여부를 통해 간접 평가하고 있으며, 영국의 BREEAM에서 주요 자재에 대해서만 평가하고 있다.

운영단계의 에너지 사용량은 현재 시행되는 에너지효율 등급 평가결과를 이용하여 냉방, 난방, 급탕, 조명, 환기별 운영에너지 사용량을 적용하도록 한다.

그리고 수자원과 탄소상쇄 부분의 평가범위를 설정하기 위해 전체 배출량에서 차지하는 비중 및 평가방법을 검토하였다. <표 10>은 업무용 건축물을 대상으로 LCA평가를 한 것이다.¹⁰⁾

상수, 오수, 중수를 고려한 수자원에 의한 LCCO₂는 전체 배출량의 약 1.7%를 차지하고, 상수사용에 의한 배출량은 1인당 탄소배출계수를 이용하여 산출하고 있어 우수,

9) 국토해양부, 한국건설교통기술평가원, 녹색건축물 활성화를 위한 온실가스배출량 평가 및 통합인증시스템 구축, 2012. 8, p.140.
10) 한양대학교, 녹색건축물 활성화를 위한 온실가스배출량 평가 및 통합인증시스템 구축, 국토해양부 연구용역 워크숍 자료, p.45, 2013. 3.

중수에 의한 상수 절감량으로 수자원의 LCCO₂ 평가가 가능할 것으로 판단된다. 식재에 의한 탄소상쇄량은 전체 배출량의 약0.1%를 차지하고 있어 상대적 비중은 매우 적으나 열섬효과완화 등의 효과를 고려하여 전체 식재수와 학교시설의 특성인 운동장의 잔디조성 면적 등을 평가항목으로 설정하도록 한다.

나) LCA 평가항목설정

LCA 평가 관련 항목을 분야별로 정리하면 <표 11>과 같다.

평가항목은 정량평가항목과 비정량평가 항목으로 구분할 수 있다. 정량평가항목은 환산계수를 통해 탄소배출량에 대한 정량적 평가가 가능한 항목이라고 할 수 있는 에너지효율향상, 주요자재평가, 상수(우수·중수)평가 등이며 절수기기사용, 모니터링 등의 항목은 탄소배출량과 관련하여 정량적으로 평가가 어려우나 관련성이 높은 항목이라고 할 수 있다. 이러한 정량, 비정량 평가항목의 설정을 통해 건물의 탄소배출과 관련된 전반적 성능 평가가 가능할 것이다.

Table 11. Items and evaluation method for LCA

분야	평가항목	정량평가	비정량평가
에너지 및 환경부하	에너지 효율 향상	○	
	계량기 설치 여부		○
	열섬효과 방지		○
	이산화탄소 배출 저감 시스템		○
재료 및 자원	주요자재의 LCA평가	○	
	건축물 수명		○
	탄소성적인증자재 사용		○
물순환관리	기존건축물 재사용		○
	절수기기 사용		○
	물사용량 모니터링		○
	우수이용	○	
생태환경	중수도 시설	○	
	식재	○	

4.2 기타 개정필요 항목

기존의 국내 학교시설 인증기준을 대상으로 추가 및 삭제필요 항목을 검토하여 <표 12>에 정리하였으며, 추가항목은 대부분의 외국 인증기준에서는 평가하고 있으나 국내 기준에서 고려하지 않고 있는 항목을 대상으로 검토하였다. 추가항목으로는 빗공해 저감, 건물의 향, 곰팡이방지, 혁신적인 디자인 도입, 전문가 참여 항목을 제안하였다. 건물의 향의 경우 대부분의 외국 기준에서 일조 관련 항목을 평가하고 있고, 국내 기준에서도 공동주택의 경우 채광률로 평가하고 있으나 소형주택의 경우 건물의 향 및

Table 12. Items necessary to revision for school

분야	평가항목	검토	비고
토지이용 및 교통	빗공해 저감	추가	인공조명으로부터 발생하는 과도한 빛 반사 방지
	자전거보관소	수정	학교급별 평가기준을 구분할 필요 있음
에너지 및 환경부하	에너지 효율 향상	수정	에너지효율등급제도 확산에 따라 평가결과 반영할 수 있도록 수정
재료 및 자원	화장실에서 사용되는 소비재 절약	삭제	학교시설 211건 통계결과 배점에 대한 획득점수 비율이 약 98%로 대부분이 점수를 획득하고 있어 평가실효성 낮음
생태환경	표토재활용율	삭제	현재 국내에서는 학교시설에만 적용되는 평가항목이나 학교시설의 특성이 반영된 특정 항목으로 볼 수 없으며, 학교시설 211건 통계결과 득점비율이 약2.9%로 평가실효성 낮음
	생태학습원	수정	대학교의 경우 실효성이 낮으므로 학교급별 평가기준을 구분할 필요 있음
실내환경	건축자재로부터 배출되는 그 밖의 유해물질 억제	삭제	기존 법률에서 제한하고 있음
	건물의 향	추가	일조평가와 관련하여 남향 배치 권장
	곰팡이 방지	추가	철직한 계획 및 시공방법을 통해 곰팡이 발생 방지
혁신성	혁신적인 디자인 도입	추가	혁신적인 기술 및 디자인 도입 시 가산점 부여
	전문가 참여	추가	녹색건축 전문가가 참여시 가산점 부여

남향의 창면적으로 평가하고 있어 소형주택 기준을 적용하였다. 그리고 혁신적인 디자인 도입 및 전문가 참여에 의한 가산항목을 추가하였다.

삭제항목은 화장실에서 사용되는 소비재 절약, 표토재활용율, 건축자재로부터 배출되는 그 밖의 유해물질 억제 항목으로 기존의 법률에서 제한하고 있거나 점수획득비율이 너무 높거나 낮아 평가실효성이 낮은 항목들이다.

그리고 수정항목은 에너지효율향상, 자전거보관소, 생태학습원 항목으로, 에너지효율향상의 경우 에너지효율등급 평가결과 반영할 수 있도록 수정이 필요하며, 생태학습원과 자전거보관소는 학교급별로 기준을 구분하여 적용할 필요가 있다.

4.3 LCA개념을 도입한 학교시설 인증기준 평가항목 개정안 도출

LCA개념을 도입한 학교시설 평가항목 개정안을 도출하면 <표 13>과 같다.

LCA개념 도입한 학교시설 인증기준은 현재 운영중인

Table 13. Amendment of green building certification criteria for school

분야	평가항목	LCA 평가항목		기타 평가항목
		정량 평가	비정량 평가	
토지 이용 및 교통 (T)	T1 기존대지의 생태학적 가치			○
	T2 일조권 간섭방지대책의 타당성			○
	T3 대중교통에의 근접성			○
	T4 자전거보관소			○
	T5 빗공해 저감			○
에너지 및 환경부하 (E)	E1 에너지 효율 향상	○		
	E1 계량기 설치 여부		○	
	E2 조명에너지 절약			○
	E3 신재생에너지 이용	○		
	E4 LCCO ₂ 배출량	○		
	E5 열섬효과		○	
	E6 이산화탄소 배출저감 시스템		○	
	E7 오존층보호를 위한 특정물질의 사용금지		○	
E8 운동장 먼지발생 방지(잔디조성 운동장일 경우 면적 표기)			○	
재료 및 자원 (R)	R1 유효자원 재활용자재 사용		○	
	R2 재활용 가능자원의 분리수거		○	
	R3 음식물쓰레기 저감		○	
	R4 탄소성적인증자재 사용		○	
	R5 기존건축물의 재사용		○	
	R6 건축물 수명		○	
	R7 주요자재의 LCA평가	○		
물순환 관리 (W)	W1 우수부하 절감대책의 타당성			○
	W2 생활용 상수절감대책의 타당성		○	
	W3 우수이용	○		
	W4 중수도 시설	○		
	W5 수자원 모니터링		○	
유지 관리 (M)	M1 환경을 고려한 현장관리계획의 합리성			○
	M2 운영/유지관리 메뉴얼 제공			○
	M3 커미셔닝			○
	M4 보행시 발생하는 먼지배출량 감소			○
생태 환경 (G)	G1 연계된 녹지축 조성			○
	G2 자연지반 녹지율			○
	G3 생태면적율			○
	G4 비오톱 조성			○
	G5 생태학습원 조성			○
	G6 식재수	○		
실내 환경 (Q)	Q1 실내공기오염물질 저방출 자재의 사용			○
	Q2 자연환기성능 확보여부			○
	Q3 적정 열원기기 배치 및 실내자동온도조절장치 채택			○
	Q4 소음			○
	Q5 현휘감소			○
	Q6 휴식 및 재충전을 위한 공간			○
	Q7 건물의 향			○
	Q8 곰팡이 방지			○
혁신성 (I)	I1 혁신적인 디자인 도입			○
	I2 전문가 참여			○

녹색건축인증제도의 평가항목을 기반으로 전체 8개 평가 분야, 44개 평가항목으로 구성하였다. 기존의 학교시설 평가항목에서 LCCO₂ 관련 5개 항목과 기타 학교시설 용도 특성을 고려해 추가가 필요한 것으로 검토된 6개 항목을 추가하였으며 법률상 이미 제한하고 있거나 점수획득율이 너무 높거나 낮아 평가실효성이 낮은 3개 항목을 삭제하여 구성하였다.

LCA평가항목을 통해 생애주기동안의 LCCO₂ 배출량에 대한 정확한 평가를 하는 것은 불가능하나 제안된 LCA와 관련된 평가항목의 설정을 통해 대상건물의 LCA와 관련된 녹색건축성능의 상당부분을 평가할 수 있을 것이다. 추후 인증평가 분야 및 평가항목에 대한 가중치 설정시 정량적 평가항목을 중심으로 학교건물의 배출비율 자료 등을 기반으로 전문가 AHP조사 등을 통해 가능한 학교건물의 LCCO₂ 배출량과 연계를 가지도록 가중치를 설계하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

5. 결론

건축물의 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출 절감은 전 세계가 당면한 과제이며 건축물의 운영주기 뿐만 아니라 생산, 시공, 운영, 폐기의 전생애주기를 고려하고 있다.

우리나라는 2013년 2월 23일을 기준으로 녹색건축물 조성 지원법이 시행되어 건축물의 녹색화에 새로운 시도를 하면서 녹색건축 인증기준도 전반적인 개정작업을 시작하였으나, 전생애주기를 고려한 LCA개념이 반영되지 못하고 있다.

본 연구에서는 국내의 녹색건축 인증제도 및 평가항목의 비교, 분석을 통해 LCA개념을 도입한 학교시설 녹색건축인증기준의 개정방향을 모색하되, LCA 개략평가가 가능한 방법을 제안하고자 한다.

국내외 7개 녹색건축 인증기준을 비교분석하면 우리나라를 제외한 6개 외국 인증기준에서는 LCA 평가항목을 적용하고 있다. 대부분 운영에너지와 자재 관련 LCA를 평가하고 있으며 LCA 평가프로그램을 이용하여 배출량을 산출하거나 산출된 값을 기준값과 비교하여 절감량을 평가한다. 그리고 CASBEE의 경우는 배출량을 직접 산출하지 않고 구조체 내구연한, 기존건물 재사용, 재활용자재 사용여부와 같이 대체항목에 의해 간략히 평가하고 있다.

본 연구에서는 LCA와 관련한 평가항목을 학교시설의 특성을 고려하여 필요한 항목을 검토하였다.

LCA 개념을 도입한 학교시설 녹색건축인증기준의 평가

항목 개정안을 제안하면 다음과 같다.

- 녹색건축인증에서 LCA와 관련된 모든 평가항목을 도출하여 평가하는 것은 현실적으로 불가능하므로 평가 비중이 크고 건물간의 상대적인 평가대상으로서의 가치가 있는 평가항목인 자재사용량, 수자원사용량, 에너지사용량, 환경오염배출량과 관련된 평가항목을 설정하도록 한다.
- LCA평가와 관련된 항목은 정량적으로 평가가 가능한 LCA관련 평가항목과 정량적으로 평가가 어려운 LCA관련 평가항목, LCA와 관련이 없는 평가항목으로 구분할 수 있는데 학교시설 녹색건축평가를 위해서는 이들 대상항목을 모두 포함하도록 한다.
- LCA평가와 관련된 정량적으로 평가가 가능한 항목으로 에너지효율성능, 자재사용량, 우수사용량 등을 설정하였다.
- 정량적으로 평가가 어려우나 평가가 필요한 LCA관련 평가항목으로는 생활용상수절감대책, 계량기설치여부, 열섬효과, 이산화탄소 배출저감 시스템, 탄소성적인증 자재 사용 등의 평가항목을 설정하였다.
- LCA평가와 직접 관련은 없으나 학교시설의 용도특성과 관련하여 중요하게 고려할 필요가 있는 건물의 향, 곰팡이 방지, 생태학습원, 환경교육공간 등의 평가항목을 설정하였다.

본 연구는 LCA와 관련하여 학교시설에서 평가가 필요한 항목설정에 대한 기초연구이며 향후 건축물전과정온실가스 평가관리프로그램 개발연구와 연계하여 평가항목 및 가중치 설정에 대한 연구를 진행하며 AHP분석기법 등을 통해 분야별 전문가의 의견을 적극 반영하도록 할 예정이다.

참고문헌

1. Nam Jung-Kul, Educational administration and Management, Kyoyookbook, 2012.
2. LEE Ho-Chin, School of architecture planning, Korea Institute of Educational Environment, 2009.
3. Kim Tae-Young and 1 other, A fundamental study on the LCA assessment of reinforced concrete buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2009.4
4. Multi-functional Administrative City Construction Agency, Multi-functional Administrative City school model development of future advanced and establishment of a research project launched in September, 09 schools RFP, 2009.12
5. Kim Yoon-Duk and 3 others, Eco-friendly construction technology evaluation methods by integrated analysis of LCC-LCA, Korea Institute of Construction Engineering and Management, 2011.5
6. Cha Ki-Uk, Calculate CO₂ emissions and environmental costs study for different types of construction waste calculated by the LCA-based, Master's thesis of Graduate School of Kyungpook National University, 2011.
7. Hong Tae-Hoon and 2 others, Environmental impact assessment method for buildings using Life Cycle Assessment (LCA), Korea Institute of Construction Engineering and Management, 2012. 9.
8. BRE, BREEAM 2011 NEW CONSTRUCTION, 2011.
9. JSBC, CASBEE for New Construction Assessment Manual(2010 Edition), 2011.
10. USGBC, LEED2009 for NEW CONSTRUCTION & MAJOR RENOVATIONS, 2011.
11. <http://www.breeam.org/>
12. <http://www.gbca.org.au/>
13. <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/>
14. <http://www.usgbc.org/>
15. http://www.beamsociety.org.hk/en_index.php

접수 2013. 4. 4
1차 심사완료 2013. 4. 26
게재확정 2013. 5. 20