



건축재료 LCI DB 기반의 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램 개발 및 적용에 관한 연구

The development and application of environmental impact assessment program for apartment building element based on building materials LCI DB

김낙현* · 태성호** · 김지훈*** · 이종건****

Kim, Rak Hyun* · Tae, Sung Ho** · Kim, Ji Hoon*** · Lee, Jong Gun****

* Dept. of Architectural Engineering, Hanyang Univ., South Korea (redwow6@hanyang.ac.kr)

** Corresponding author, School of Architecture & Architectural Engineering, Hanyang Univ., South Korea (jnb55@hanyang.ac.kr)

*** Coauthor, Dept. of Architectural Engineering, Hanyang Univ., South Korea (johnny.luvsm@gmail.com)

**** Coauthor, Green Remodeling Department, Korea Land & Housing Corporation, South Korea (leejg125@lh.or.kr)

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to develop and apply an environmental impact assessment program for apartment building elements, based on the building materials of the LCI DB, which can link the LCA results of building materials and buildings.

Method: For this purpose, a framework for building elements was established, and several building material combinations were developed. In addition, the LCA method for quantifying environmental load emissions from the building materials of each site was applied to establish an environmental impact database of the building materials of the LCI DB.

Result: An environmental impact assessment program, based on a Microsoft Excel worksheet, was developed for apartment building elements. This program can link the environmental impact assessment of building materials and building units. To validate the program evaluation results that were obtained in this study, a comparative analysis was carried out using the results of existing evaluation methods. The error rate was estimated to be 5% for environmental impact assessment using existing evaluation methods.

© 2016 KIEAE Journal

KEYWORD

공동주택
환경영향
건축재료
LCI DB

Apartment Building
Environmental Assessment
Construction Materials
LCI DB

ACCEPTANCE INFO

Received Sep 05, 2016

Final revision received Dec 14, 2016

Accepted Dec 19, 2016

1. 서론

전 세계적으로 각 국가의 산업분야에서는 지속가능한 개발 (ESSD, Environment Sound and Sustained Development)을 전제로 하여 환경규제가 국제적으로 강화되고 있다. 이에 따라 각 국가에서는 통합제품정책(EU IPP, Integrated Product Policy), 제품의 친환경 설계규정(EuP, Ecodesign requirements for Energy-using Products) 등 제품 중심의 각종 배출허용기준과 같은 직접적인 환경규제뿐만 아니라 환경제품선언(EPD, Environmental Product Declaration)와 같은 제품의 간접적인 환경규제수단을 통해 자국의 환경을 보전하려는 노력이 이루어지고 있다. 이러한 움직임에 비추어 볼 때 모든 분야의 조직, 제품 및 서비스 등은 환경부하를 최소화하는 방향으로 개발되거나 운영되어야 하며 건물의 구성요소인 건축재료 분야 역시 이런 흐름에 부응해야 할 시점이다(1,2).

이에 따라, 건축재료 분야에서도 환경부하 배출을 최소화하는

동시에 자원 재이용율이 높은 저탄소 및 저에너지 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다. 건설산업의 환경부하 저감은 건축재료의 정확한 측정과 평가를 기반으로 하는 요소기술의 개발이 필수적이다. 건축물의 환경부하에 영향을 미치는 요소는 건축물의 용도나 거주자의 생활패턴에 따라 다양할 수 있지만, 기본적으로 건물이 완성되면서 발생하는 환경영향은 이러한 개별적인 건축재료들이 발생시키는 환경부하의 합으로 볼 수 있다. 따라서 건축물 자체에서 발생하는 환경부하를 저감하기 위해서는 건물을 구성하는 건축재료의 내재된 환경영향을 효율적으로 평가가 능한 환경영향 평가기법 개발이 요구되고 있다. 하지만 현재까지 진행된 건축재료의 환경영향평가와 관련된 연구는 개별의 건축재료들을 분석대상으로 수행된 경우 보다는, 대부분 건축물의 일부분으로서 연구가 진행되었다³⁾.

다시 말하면, 건축재료의 환경영향평가 결과는 건축부재 또는 건축물의 환경영향평가에서 직접적으로 활용 가능할 뿐 서로 유기적인 연계성을 갖고 있지 못한 실정이다. 진정한 의미의 건축물 환경영향평가를 위해서는 건축재료의 환경영향평가 결과가 건축부재의 환경영향평가결과에 활용되고 그 환경영향평가 결

과는 다시 건축물의 환경영향평가결과로 연계되는 평가모델에 관한 연구가 필요하다. 또한 건축재료의 환경영향 평가를 주로 에너지소비와 이산화탄소배출량에 중점을 두어 수행하여 다른 환경영향요소를 분석하는 데에는 부족함 있었다⁴⁾. 이에 본 연구에서는 건축물에 투입되는 건축재료에서부터 건축부재, 건축물의 환경영향평가 결과가 서로 연계될 수 있는 건축재료 전과정목록 분석 데이터베이스 (LCI DB, Life Cycle Inventory Database)기반의 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램을 개발하고, 그에 따른 적용가능성 검토를 목적으로 하고 있다. 이를 위해 건축물 부위별 분류체계를 구축하고, 그에 따른 건축재료 조합목록을 도출하였다. 이때의 전과정 환경영향 평가범위는 건축재료의 생산단계를 대상으로 하여 6대 환경영향 범주에 미치는 영향을 평가한다. 이를 통해 건축재료 및 건축부재, 건축물 단위의 환경영향 평가가 연계 가능한 Excel 워크시트 기반의 평가 프로그램 개발하고 사례평가를 통한 적용가능성을 검토하였다.

2. 건축물 부위별 분류체계 구축

2.1 건축물 부위별 분류체계

건축물의 환경영향을 판단하는 대표적인 기법으로 전과정 평가 기법이 사용되고 있다. 미국 OEERE(Office of Energy Efficiency and Renewable Energy)의 건축물 환경영향 평가도구 유형 분류체계에 따르면, 건축물 에너지 모델링 유형 다음으로 건축재료 및 부위요소 선택에 따른 건축물 전 과정 평가유형이 큰 비중을 차지하고 있다⁵⁾. 여기서 '건축물 부위'란 건축물 종류나 시방에 관계없이 항상 같은 기능을 가지는 부분으로 건축물을 구성하는 벽, 천정, 바닥 등의 부분을 말한다. 이와 같은 재료 및 건축물 부위요소 선택에 따른 환경영향 평가는 건축재료의 환경적 특성을 조합하여 평가하며 다음과 같은 특징이 있다. 건축물 환경영향 평가는 건축물에 투입되는 재료의 종류 및 물량과 높은 상관관계가 있는데, 건축물 부위별 평가는 설계자들이 바닥, 벽, 천정 등으로 쉽게 적용할 수 있는 부분으로 정확하게 나누어 각 부분의 집합체로서 건축물의 환경영향 평가를 제공하여 건축재료를 효과적으로 선택하는 친환경적인 의사결정 지원도구로 사용된다. 이와 같은 건축재료에 기초한 건축물의 환경영향 평가방법은 건축재료 레벨, 건축부재 레벨, 건축물 레벨, 건축물 친환경 인증제

Table 1. Apartment complex overview

NO.	Apartment complex	Gross Floor Area (m ²)	Number of households	Number of building
1	Seoul Seocho A Apartment	36,152	280	3
2	Seoul Magok B Apartment	122,638	1,082	14
3	Seongnam Jeongja C Apartment	355,075	1,829	13
4	Yongin Shinbong D Apartment	57,091	401	8
5	Yongin Joungdong E Apartment	252,573	1,902	17
6	Pyeongtaek F Apartment	103,254	828	13
7	Cheongju Sajik G Apartment	211,074	1,767	21
8	Cheonan Ssangyong H Apartment	95,461	564	10
9	Busan Daegum I Apartment	80,747	489	5
10	Busan Geoje J Apartment	58,565	540	6
11	Busan Umgong K Apartment	229,482	1,852	18
12	Busan Yeonji L Apartment	93,804	547	8

도로 이어지는 단계별 환경영향 평가방법으로 친환경 건축재료의 활성화가 기대되는 평가체계이다. 본 연구에서는 건축물 부위별 환경영향 평가 프로그램 개발을 위해 건축물 부위별 분류체계를 제안하였다. 건축부재의 정보를 체계적으로 분류한 국토교통부 건설정보 분류체계 중 부위분류를 활용하고 건축물 유형에 적합한 부위별 분류 체계를 제안하기 위해 국내의 용도별 건축허가 통계상에서 가장 큰 비중을 차지하는 공동주택 건축물을 대상으로, 실제 투입된 건축재료의 목록 분석을 통해 7개 부위 즉, 구조재, 내벽재, 외벽재, 천정재, 바닥재, 지붕재, 창호재로 구성된 분류체계를 제안하였다⁶⁾.

2.2 건축물 부위별 주요 건축재료 선정

본 연구에서는 건축물 부위별로 해당 건축재료 선택을 위한 데이터베이스 구축을 위해 건축물 부위별로 투입되는 주요 건축재료의 종류를 선정하였다. 주요 건축재료의 선정은 <표1>의 실제 준공된 공동주택 총 12개 단지 중 입수한 60개 동의 실내재료 마감표의 목록을 활용하였으며, 건축물 부위별 분류체계를 설정하고 각각의 부위에 사용되는 건축재료, 즉 부위별 주요 건축재료 25종을 취합하였다. 이 때 지하층은 건축물의 입지조건 및 법규 등에 따라 형태와 규모가 다양하고 사용되는 건축재료 또한 상이한 것으로 분석됨에 따라, 본 연구에서는 분석 범위를 지상층으로 한정하였다. 7개 건축물 부위별 분류체계에 따라 본 연구에서 입수한 건축

Table 2. Details of construction material selection by building element

Building element	Based on finish schedule of interior materials of 60 apartment buildings	2006 Apartment Building Construction Cost Analysis Data	Finish materials by building element selected in this study (partial)
Structure	Ready mixed concrete, rebar, concrete block, cement block	Ready mixed concrete, rebar, cement block	Ready mixed concrete, rebar
External wall	Wallpaper, gypsum board, earthenware tile, ceramic tile, paint	Wallpaper, paint, side buffer material	Wallpaper, gypsum board, earthenware tile, ceramic tile, paint, side buffer material
Internal wall	Wallpaper, gypsum board, earthenware tile, ceramic tile, paint	Wallpaper, paint, side buffer material	Wallpaper, gypsum board, earthenware tile, ceramic tile, paint, side buffer material
Floor	Plate insulator, laminate floor, ceramic tile, polished tile	Plate insulator, polishing tile, laminate floor, marble, floor buffer	Plate insulator, polishing tile, laminate floor, ceramic tile, polished tile, marble, floor buffer
Ceiling	Gypsum board, ceiling paper, PVC ceiling, Exapan ceiling, plastic ceiling material	Gypsum board ceiling paper, PVC ceiling, Exapan ceiling, plastic ceiling material	Gypsum board, ceiling paper, PVC ceiling, Exapan ceiling, plastic ceiling material
Roof	Waterproofing material, slate	-	Waterproofing material, slate
Opening	Metal window, wood window, wood door, apartment entrance door, PP glass door, metal door, tempered glass	Metal window, wood window, wood door, metal door, tempered glass	Metal window, wood window, wood door, apartment entrance door, PP glass door, metal door, tempered glass

재료 마감표에 근거하여 건축재료를 분석하였으며, 공동주택에서 사용되어지는 그 외의 건축재료 내역을 추가 및 보완하고자 한국 토지주택공사에서 발간한 “2006 공동주택 공사비 분석 자료”를 참고하여, 공동주택의 건축재료 종류를 추가하였다⁷⁾. 이를 정리하여 <표 2>에 건축물 부위별 건축재료 선정 내역을 나타내었다.

3. 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로세스

3.1 개요

공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램은 공동주택의 환경영향을 건축재료 단위, 건축부재 단위, 건축물 단위로 평가하여 친환경 건축물을 실현하기 위해 요구되는 친환경 건축재료를 용이하게 선정할 수 있도록 설계자의 의사결정을 지원하는 프로그램이다. 본 프로그램은 건축재료의 전과정평가 방법론을 활용하여 건축재료의 환경영향 평가정보를 제공한다. 본 프로그램의 전과정 평가범위는 건축재료의 자재생산단계를 대상으로 하여 환경영향 범주에 미치는 영향을 각각 평가하며 영향평가는 건축재료에서 배출되는 환경부하 배출물질이 생태계에 미치는 정도를 파악할 수 있는 물질비교형(Mid-point)방식을 적용하였다. 환경영향 범주는 지구온난화(GWP, Global Warming Potential), 산성화(AP, Acidification Potential), 부영양화(EP, Eutrophication Potential), 오존층영향(ODP, Ozone Depletion Potential), 자원소모(ADP, Depletion Potential), 광화학적산화물생성(POCP, Photochemical Ozone Creation Potential) 등 6종이다.

3.2 건축재료의 환경영향 정보 데이터베이스 구축

3.2.1 건축재료의 환경영향 정보 데이터베이스 선정

환경영향 정보 데이터베이스란 제품의 생산에 필요한 원자재의 채취, 가공, 수송, 제조에 이르는 제품의 시스템으로 투입되는 자원 및 에너지의 양과 시스템에서 환경으로 배출되는 폐기물의 발생량을 목록화한 데이터베이스를 말한다. 본 연구에서는 신뢰성 높은 건축재료의 환경영향 정보 데이터베이스 구축을 위해 부위별 세부 건축재료의 일위대가표 분석과 직접적산방법으로 구축된 건축재료의 LCI DB 구축 내역을 조사하였다. 선정된 부위별 주요 건축재료

를 2014년 표준품셈 및 일위대가표 분석을 통해 세부재료별 데이터베이스를 선정하였고, 단위 불일치 재료는 밀도 및 규격을 이용하여 단위를 변환후 데이터베이스 매칭 작업을 실시하였다.

건축재료의 특성화 환경영향 산정을 위해 직접적산 방법으로 구축된 국가 LCI DB(지식경제부, 환경부)와 건축재료 환경영향 정보 국가 DB(국토교통부)해외 LCI DB의 현황을 조사하였다. 해외 LCI DB는 대표적인 LCI DB 모듈인 스위스의 Ecoinvent를 대상으로 하였다. 이때, 국가 DB에서 공통적으로 구축된 건축재료의 LCI 데이터베이스는 국가 LCI 데이터베이스 인증 여부에 따라 국가 LCI DB를 우선적으로 적용하였으며, 국가 LCI DB에서 구축되지 않은 건축재료의 LCI 데이터베이스를 건축재료 환경영향정보 국가 DB와 Ecoinvent에서 보완하는 방식으로 연구를 진행하였다⁸⁻¹⁰⁾.

3.2.2 건축재료의 환경영향 정보 데이터베이스 구축

지구온난화, 자원고갈, 산성화, 부영양화, 오존층파괴, 광화학 적산화물 등 6가지 환경영향 범주별 기준물질 및 영향지수에 근거하여 주요 건축재료 생산단계의 특성화 환경영향을 산정하였다. 이때, 환경영향범주별 기준물질 및 영향지수는 한국의 환경성적 표지인증에서 채택하고 있는 데이터베이스에 근거하여 적용하였으며, 앞서 선정된 LCI 데이터베이스를 분석하여 분류화 및 특성화를 수행하였다. 분류화는 환경영향범주에 따라 영향물질들을 분류 및 취합하는 과정으로 이루어진다. 이는 주로 LCI 데이터베이스에서 도출된 영향물질들을 문헌상 알려진 사실에 입각하여 환경영향범주에 연결시키고 이를 환경영향범주별로 취합하여 각각의 영향물질들이 환경에 미치는 영향의 형태를 비교적 명확하게 파악할 수 있게 된다. 특성화는 영향물질들이 각각의 환경영향범주에 미치는 환경영향을 정량화하는 과정으로 <식1>과 같이 영향물질의 환경부하량과 영향지수간 곱들의 총합으로 특성화 환경영향을 산출할 수 있다¹¹⁾.

$$CI_i = \sum CI_{ij} = \sum (Load_j \times eqv_{ij}) \quad (1)$$

여기서 CI_i 는 특성화 환경영향의 크기, $Load_j$ 는 j 영향물질의 환경부하량, eqv_{ij} 는 i 의 영향범주에 속한 j 영향물질의 영향지수 값을 나타낸다. <표 3>은 본 연구에서 산정한 건축재료의 특성화 환경영향 내역을 나타낸다.

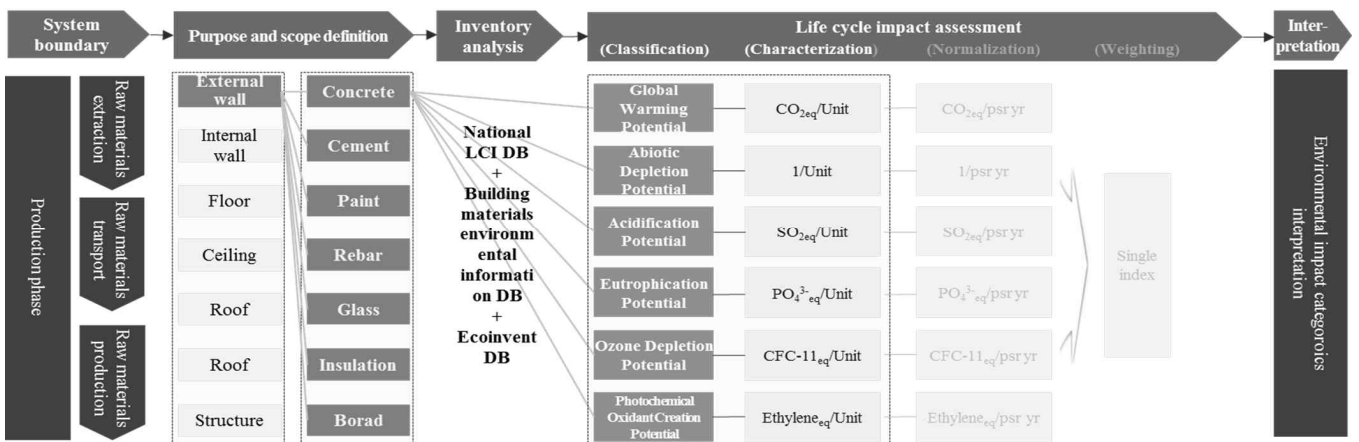


Figure 1. Life cycle impact assessment model of environmental impact assessment program

Table 3. Construction details of the environmental database for external wall materials (partial)

Construction material	Construction cost breakdown					Environmental effect categories					
	Composition	Specification	Type	Unit	Quantity	GWP	ADP	AP	EP	ODP	POCP
						CO ₂ eq/kg	1/kg	SO ₂ eq/kg	PO ₄ ³⁻ eq/kg	CFC-11eq/kg	Ethylene _{eq} /kg
Unsaturated polyesters	ready mixed paint	KS-M-5713	-	-	-	2.87E+00	3.62E-02	7.14E-03	6.56E-04	9.35E-07	2.48E-03
Water soluble emulsion	water paint	KS-M-6010	roller coating, brush	ℓ	0.197	3.23E-01	6.49E-03	1.13E-03	9.53E-05	8.51E-08	4.05E-04
	water paint	KS-M-6010	spray coat	ℓ	0.256	3.23E-01	6.49E-03	1.13E-03	9.53E-05	8.51E-08	4.05E-04
Water soluble liquid	ready mixed paint	KS-M-6020	lumber type	ℓ	0.176	1.19E-00	1.48E-02	7.62E-03	9.99E-04	2.71E-08	4.04E-04
Aminoalkyd	ready mixed paint	KS-M-6020	steel type	ℓ	0.166	8.37E-01	1.80E-02	3.77E-03	1.83E-03	4.06E-08	3.65E-04
Alkyd-enamel varnish	ready mixed paint	-	-	-	-	2.26E-01	2.42E-02	1.63E-03	1.18E-04	2.03E-08	1.82E-04
Urethane	ready mixed paint	-	-	-	-	3.89E+02	4.59E+00	1.05E+00	1.04E-01	1.40E-04	4.17E-01

3.3 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램 구성

공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램은 건축물의 7개 부위별 건축재료 정보를 선택하도록 구성되었으며, 각 부위에 면적 및 투입 물량을 기입하여 산출된 결과를 통해 건축물 단위의 6대 환경영향을 평가한다. 화면 구성은 기본정보, 재료정보 입력, 종합평가결과, 단위평가결과로 구분된다. 본 프로그램의 평가 프로세스는 <그림 2>와 같다. 기본 정보 화면에서는 사업명, 주소, 용도, 구조, 연면적, 평가자, 연락처 등 건축물의 개요 및 평가자의 정보입력이 가능하다. 재료정보 입력에서는 7개 부제의 면적을 입력하고 투입된 재료 정보를 입력한다.

사용자는 부제별 면적을 입력하고 각 부제별 자재 선택을 위해 <그림 3>과 같이 제공된 재료 조합표를 이용하여 재료를 선정할 수 있다. 이는 본 프로그램 내부의 환경영향 원단위 DB와 자

동으로 연계되어 건축재료에 기인한 환경영향 정보, 재료별 환경영향 비율이 산정되도록 구성하였다. 자재 선정에 따른 즉각적인 환경영향 평가 결과를 제공을 원하는 사용자는 프로그램 상단의 그룹 기능을 이용하여 확인이 가능하다.

개별 재료의 환경영향 정보, 재료별 환경영향 비율, 대안 건축재료 선택에 따른 저감률 확인이 가능하다. 종합평가 결과에서는 건축물의 평가 개요와 종합적인 환경영향 평가결과 확인이 가능하며, 평가 건축물의 부위별 친환경 건축재료 사용현황 확인이 가능하다. 단위평가 결과에서는 친환경 건축재료의 선택 유도를 위해 환경부하 배출 비율을 건축물 단위/건축부제 단위/건축재료 단위 3단계로 구분된 평가 결과를 제공한다. 건축물 단위 평가에서는 7개 부제별 환경영향 평가 비율이 높은 부제 정보를 제공하여, 해당부제에서 환경영향 평가 비율이 높은 재료를 확인하고, 대안 건축재료 선택에 따른 저감률 자동 산정이 가능하다.

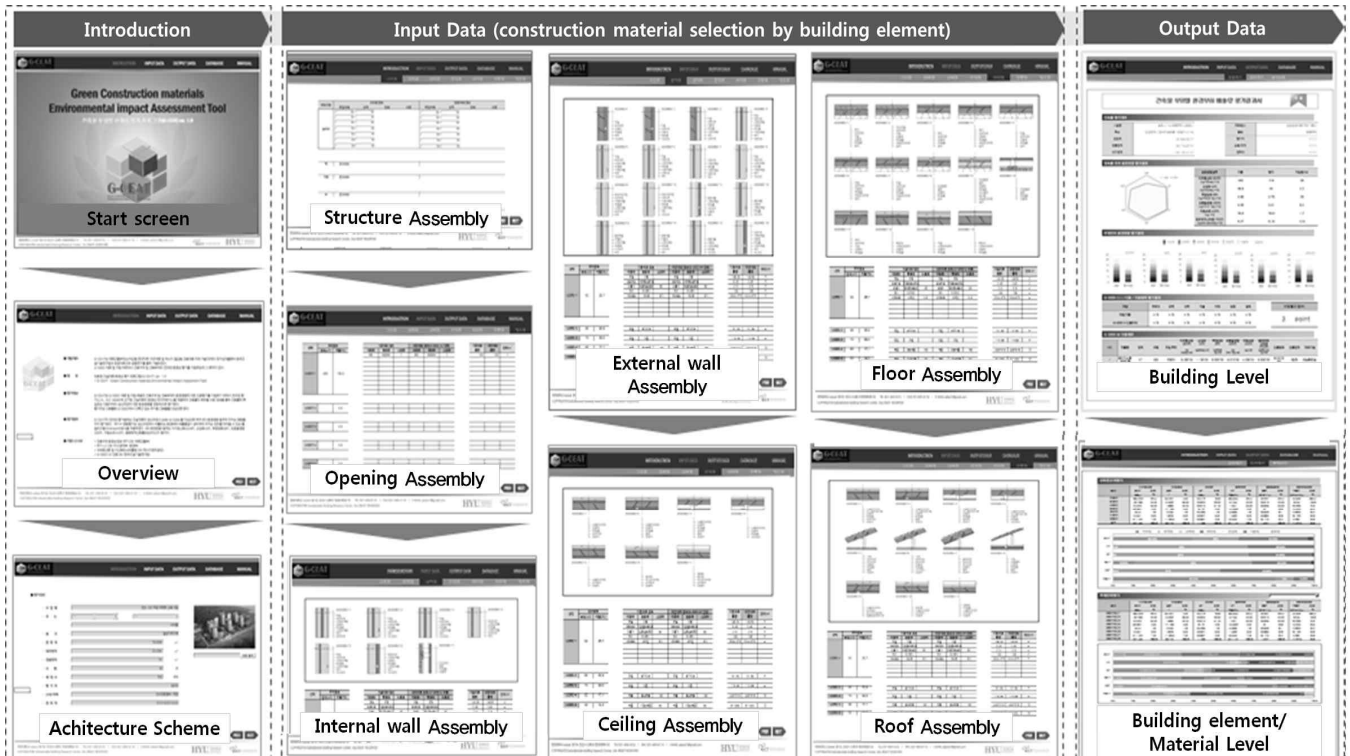


Figure 2. Interface of environmental impact assessment program

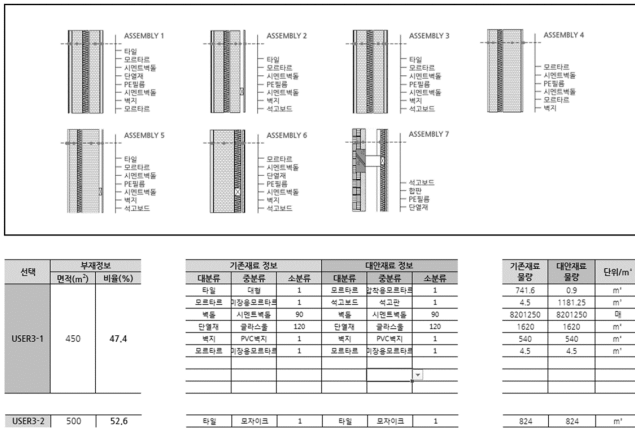


Figure 3. Interface of construction materials component

4. 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램 적용 사례

4.1 개요

본 연구에서 제안한 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램의 적용가능성 검토를 위한 사례분석 연구를 수행 하였다. 평가 대상은 서울 M지구의 지상 15~16층 규모의 공동주택 단지이다. 본 공동주택 단지는 철근콘크리트구조로 건설되었고 13개의 주거동을 포함한다.

<표 4>는 본 평가대상의 건축개요를 나타낸다. 동일한 공동주택 단지를 대상으로 기존의 환경영향 평가방식(기존 평가방식)과 본 프로그램을 이용한 환경영향 평가방식의 유효성을 중점적으로 비교하였다. 또한, 본 프로그램의 친환경 건축재료 선정에

Table 4. Achitecture Scheme

Classification	Contents	Bird's eye view
Title of the Business	Seoul M District 7 Complex	
Purpose	Apartment Housing	
Structure	RC Structure Column Type	
Gross Floor Area	208,393 m ²	
Lot Area	51,184 m ²	
Exclusive Use Area	95,002 m ²	

Table 5. Building input material combination of Case study

Building element	Base case	Case 1	Case 2
Structure	Ready mixed concrete, rebar	-	●
External wall	Wallpaper, gypsum board, earthenware tile, ceramic tile, paint	○	-
Internal wall	Wallpaper, gypsum board, earthenware tile, ceramic tile, paint	○	-
Floor	Plate insulator, polishing tile, laminate floor, ceramic tile, polished tile	-	-
Ceiling	Gypsum board, ceiling paper, PVC ceiling, Exapan ceiling, plastic ceiling	○	-
Roof	Waterproofing material	-	-
Opening	Tempered glass, double glazing	-	-

● : Green concrete (Admixture replacing ratio 40%),
○ : Green gypsum board (Environmental reducing ratio 10%)

기인한 내재 환경영향평가의 적용 가능성을 판단하기 위해 <표 5>와 같이 평가대상의 건축재료 적용 조건을 기존 건축물, Case 1, Case 2로 구분하여 평가를 실시하였다. Case 1은 대표적인 비구조재료인 석고보드를 대상으로 하여, 표준 대비 10% 저감된 석고보드 LCI DB를 가정하였으며, Case 2는 콘크리트를 대상으로 표준 대비 혼화재가 40% 치환 혼입된 콘크리트의 LCI DB를 적용하였다. 이때 표준의 건축재료 DB는 국가 LCI DB를 기반으로 하여 평가하였다.

4.2 유효성 검토

기존 평가방식의 생산과정은 물량산출 내역서에 근거하여 건축공사에 투입된 세부 건축자재의 환경영향을 평가하였고 본 프로그램은 7가지 부위에 기초한 426가지 세부 건축자재의 환경영향을 평가하였다. <그림 4>와 <표 6>은 기존의 평가방식과 본 프로그램을 통해 산출한 환경영향 평가결과를 나타낸다. 기존의 평가방식을 이용한 환경영향 평가결과는 지구온난화 556.20 kg-CO_{2eq}/m², 자원소모 1.65 kg/m², 산성화 1.02 kg-SO_{2eq}/m², 부영양화 0.13 kg-PO₄³⁻eq/m², 오존층영향 0.0046 kg-CFC-11eq/m², 광화학적 산화물 1.20 kg-Ethyleneeq/m²으로 평가되었다. 본 프로그램의 평가결과는 지구온난화 539.10 kg-CO_{2eq}/m², 자원소모 1.54 kg/m², 산성화 0.95 kg-SO_{2eq}/m², 부영양화 0.12 kg-PO₄³⁻eq/m², 오존층영향 0.0045 kg-CFC-11eq/m², 광화학적 산화물 1.17 kg-Ethyleneeq/m²으로 기존 평가결과와 비교하여 약 5%의 오차율을 갖는 유사한 값으로 평가되었다. 이에 공동주택 주요 부위 기초한 환경영향 평가방법의 유효성이 확인됨에 따라 본 평가를 효율적으로 지원 가능할 것으로 판단된다.

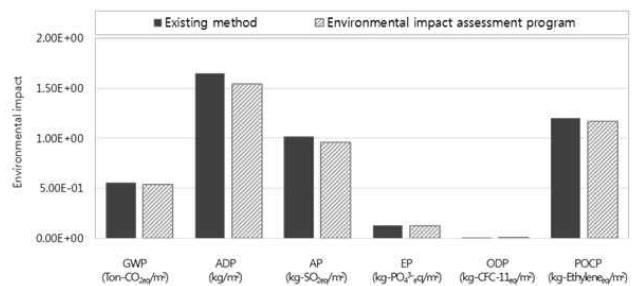


Figure 4. Results of Evaluating Environmental impact

Table 6. Results of Evaluating Environmental impact

Environmental impact	Existing method	Environmental impact assessment program	Error rate (%)
GWP (kg-CO _{2eq} /m ²)	5.56E+02	5.39E+02	3.07%
ADP (kg/m ²)	1.65E+00	1.54E+00	6.71%
AP (kg-SO _{2eq} /m ²)	1.02E+00	9.56E-01	6.16%
EP (kg-PO ₄ ³⁻ eq/m ²)	1.30E-01	1.23E-01	5.53%
ODP (kg-CFC-11eq/m ²)	4.62E-03	4.51E-03	2.38%
POCP (kg-Ethyleneeq/m ²)	1.20E+00	1.17E+00	2.89%

4.3 적용 사례분석

공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램에 의한 사례분석 결과 <그림5>와 같이 전체 건축물의 환경영향 평가 결과를 주요 건축부재로 구분하여 평가가 가능하였다. 평가 대상 공동주택의 환경영향 평가결과는 지구온난화 539.10 kg-CO_{2eq}/m², 자원소모 1.54 kg/m², 산성화 0.95 kg-SO_{2eq}/m², 부영양화 0.12 kg-PO₄³⁻eq/m², 오존층영향 0.005 kg-CFC-11eq/m², 광화학적 산화물 1.17 kg-Ethylene_{eq}/m²으로 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램을 이용한 정량적인 평가가 가능하였다.

이중 콘크리트, 철근 등으로 구성되어 있는 구조재의 6대 환경영향이 지구온난화 375.02 kg-CO_{2eq}/m², 자원소모 1.15 kg/m², 산성화 0.62 kg-SO_{2eq}/m², 부영양화 0.72 kg-PO₄³⁻eq/m², 오존층영향 0.004 kg-CFC-11eq/m², 광화학적 산화물 1.01kg-Ethylene_{eq}/m²으로 최소 58%에서 최대 89%까지 상회하는 비율을 차지하고 있다는 점을 파악할 수 있다.

이러한 가운데, 친환경 석고보드를 사용한 Case 1은 각 환경영향범주에서 지구온난화 0.9%, 자원소모 1.7%, 산성화 1.3%, 부영양화 1.6%, 오존층영향 0.1%, 광화학적 산화물 0.5% 저감율을 나타냄을 알 수 있었다. 친환경 콘크리트 원단위를 적용한 Case 2는 각 환경영향범주에서 지구온난화 20.2%, 자원소모 1.9%, 산성화 3.2%, 부영양화 2.9%, 오존층영향 0.2%, 광화학적 산화물 4.3%의 저감율을 보였다. 이 중 상대적으로 지구온난

화등 환경영향 지수가 높은 건축재료인 콘크리트를 변경하는 것이 석고보드와 같은 마감재를 변경하는 것보다 환경부하 저감률을 높이는 데에 효과적임을 알 수 있다. 특히, 콘크리트가 많이 투입되는 구조재가 건축물 환경영향에 많은 영향을 끼친다는 결과로도 해석된다. 이와 같이 본 연구에서 제안된 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램을 통해 건축재료의 환경영향이 반영된 부재단위의 평가에 따라 건축재료/건축물의 환경영향에 미치는 영향을 사전에 평가할 수 있고 목표 환경부하 저감량 도달을 위해 설계단계에서 건축재료 선택을 달리 하여 단시간 내에 적합한 안을 선택할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과로 개발된 건축재료의 환경영향 평가 프로그램을 통하여, 건축재료의 환경부하 배출량 산정 및 건축재료의 환경제품 선언을 위한 근거로 사용할 수 있으며, 설계단계에서 건축물에 대한 정량적인 환경부하 산정 등에 활용될 것으로 사료된다. 또한 동등한 기능을 가지는 유사 건축재료가 시장에 존재하는 경우, 특화된 분야에 대한 환경적 전문지식이 없는 소비자라 할지라도 본 연구를 통해 개발된 평가방법을 활용하여 환경적으로 좀 더 양호한 건축재료를 소비자가 판단할 수 있으며, 기업의 측면에서도 제품의 선택 시 환경적으로 가장 유리한 의사결정을 도출하는데 근거로 활용될 수 있다. 향후 세부 건축재료의 LCI DB가 추가적으로 구축된다면 주요부위에 따른 최적의 건축물 친환경 평가가 용이하게 이루어 질 것으로 사료된다.

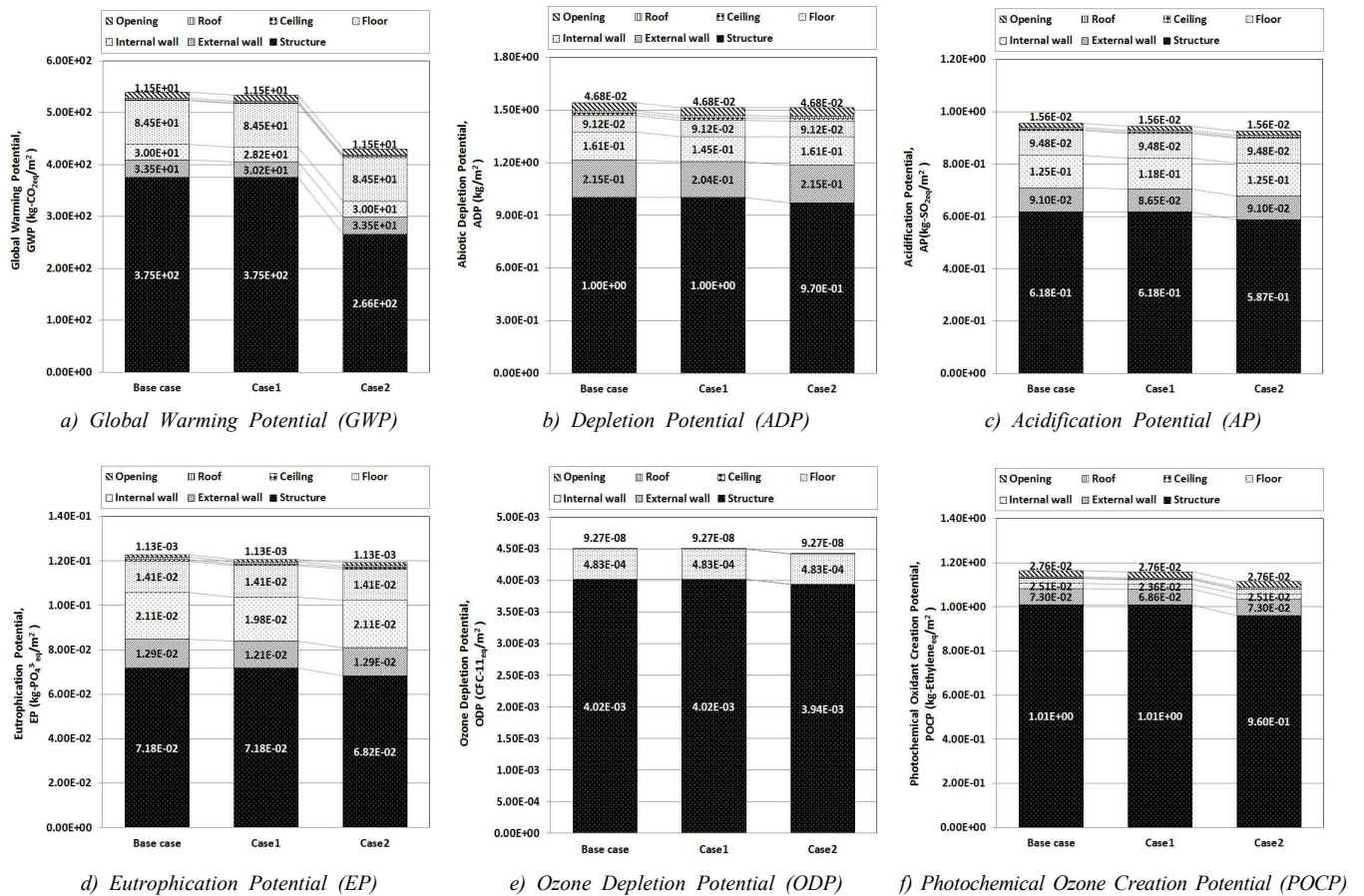


Figure 5. Environmental impact analysis by environmental impact assessment program

5. 결론

본 연구에서는 공동주택에 투입되는 건축재료, 건축부재, 건축물의 LCA 결과가 서로 연계될 수 있는 건축재료 LCI DB 기반의 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램 개발을 목적으로 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 건축재료의 전과정 환경영향 DB의 활용 방안으로 설계자가 환경부하를 저감시키는데 직접적으로 참여할 수 있는 건축재료 환경영향 평가 모델을 제안하였다.
2. 건축물 부위별의 재료 선정을 지원하기 위해 7개 건축물 부위 분류 체계와 110개 재료 조합 목록을 도출하고, 이를 이용한 물량 산정 체계를 구축하였다.
3. 건축재료별 환경영향특성화 데이터베이스 구축을 수행하여, 건물 단위의 환경영향 평가 연계 가능한 Excel 워크시트 기반의 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램을 개발하였다.
4. 서울 M지구 7단지의 환경영향 평가결과는 지구온난화 $539.10\text{kg-CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2$, 산성화 $0.94\text{kg-SO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2$, 자원소모 $1.54\text{kg}/\text{m}^2$, 오존층영향 $0.01\text{kg-CFC-11}_{\text{eq}}/\text{m}^2$, 부영양화 $0.12\text{kg-PO}_4^{3-\text{eq}}/\text{m}^2$, 광화학적산화물 $1.17\text{kg-Ethylene}_{\text{eq}}/\text{m}^2$ 으로 공동주택 부위별 환경영향 평가 프로그램을 이용한 정량적인 평가가 가능하였다.
5. 동일한 공동주택 단지를 대상으로 기존의 평가방식을 이용한 환경영향 평가 방식으로 평가 한 결과 약 5%의 오차를 보이며, 유사하게 평가됨에 따라 부위별 환경영향 평가 프로그램의 유효성을 확인하였다.
6. 친환경 건축재료 선정에 기인한 내재 환경영향평가의 적용 가능성을 실시한 결과, 상대적으로 환경영향 배출이 높은 건축재료인 콘크리트를 변경하는 것이 석고보드와 같은 마감재를 변경하는 것보다 환경부하를 저감하는 것에 효율적인 것으로 분석되었다.
7. 본 연구의 결과로 개발된 건축재료의 환경영향 평가 방법을 통하여, 건축재료의 환경부하 배출량 산정 및 건축재료의 환경제품 선언을 위한 근거로 사용할 수 있으며, 설계 단계에서 건축물에 대한 정량적인 환경부하 산정 등에 활용될 것으로 사료된다.

Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning and the Ministry of Education, Science and Technology (No.2015R1A5A1037548, (No.2015R1D1A1A01057925))

Reference

[1] Tae Sung-Ho and Shin Sung-Woo, Current work and future trends for sustainable buildings in South Korea. Renewable and Sustainable

Energy Reviews, 2009

- [2] Baek Cheong-Hoon, Tae Sung-Ho, Kim Rak-Hyun and Shin Sung-Woo, Life Cycle CO₂ Assessment by Block Type Changes of Apartment Housing, Sustainability, 2016
- [3] 김낙현, 태성호, 채창우, 이종건, 김지훈 “친환경 건축재료 활성화를 위한 건축물 부위별 환경영향 평가체계 개발”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제 36권 제 1호, 2015 // (Kim, Rak-Hyun, Tae, Sung-Ho, Chae, Chang-U, Lee, Jong-Geon, Kim, Ji-Hoon. “Development of environmental assessment framework of building elements for environmental friendly building materials vitalization”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 36, No. 1, 2015)
- [4] Chae Chang-U, G-SEED M : Facilitating G-SEED to use more sustainable materials, International seminar on embodied impacts of building and low carbon construction materials, International Seminar on Embodied Impacts of Building and Low Carbon Construction Materials, 2015
- [5] Roh Seng-Jun, Tae Sung-Ho and Shin Sung-Woo. Development of building materials embodied greenhouse gases assessment criteria and system (BEGAS) in the newly revised Korea Green Building Certification System (G-SEED). Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014
- [6] Kim Rak-Hyun, Tae Sung-Ho, Chae Chang-U and Kim Ji-Hoon, Development of an Environmental Database for Construction Finish Materials Organized by Building Element, Applied Mechanics and Materials, 2015
- [7] Korea Land & Housing Corporation: Apartment Building Construction Cost Analysis Data, 2006
- [8] Korea Environmental Industry Technology Institute, National LCI database, www.edp.or.kr/lcidb
- [9] 노승준, 태성호, 김태형, 김낙현, “건축물 전과정 평가를 위한 주요 건축재료의 환경영향 특성화값 비교에 관한 연구”, 대한건축학회지, 제 29권 제 7호, 2013 // (Roh, Seong-Jun, Tae Sung-Ho, Kim, Tae-Hyung, Kim Rak-Hyun, “A Study on the Comparison of Characterization of Environmental Impact of Major Building Material for Building Life Cycle Assessment, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 7, 2013)
- [10] Tae Sung-Ho, Shin Sung-Woo, Woo Ji-Hwan and Roh Seng-Jun. The development of apartment house life cycle CO₂ simple assessment system using standard apartment houses of South Korea, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2010
- [11] International Organization for Standardization. ISO 1404 : Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, 2006