

건축물의 전과정 지속가능성 평가방법에 관한 연구

노승준, *태성호, **이강희, ***채창우, ****김익

한양대학교 건설구조물 내구성혁신 연구센터(ERC), *한양대학교 공학대학 건축학부,
국립안동대학교 공과대학 건축공학과, *한국건설기술연구원 건축도시연구소, ****(주)스마트에코

A Study on the Life Cycle Sustainability Assessment Method of Buildings

Seung Jun Roh, *Sung Ho Tae, **Kang Hee Lee, ***Chang U Chae, ****Ik Kim
Innovative Durable Building and Infrastructure Research Center (ERC), Hanyang University, *School of
Architecture & Architectural Engineering, Hanyang University, **Dept. of Architectural Engineering,
Andong National University, ***Building and Urban Research Institute, Korea Institute of Civil
Engineering and Building Technology, ****Smart Eco Corp.

Abstract

The purpose of this study is to propose a life cycle sustainability assessment method of buildings by applying the life cycle sustainability assessment (LCSA) methodology. To that end, the evaluation items of building LCSA were divided into the environmental performance, economic performance, and social performance of life cycle aspects, and detailed assessment method required each evaluation items were proposed. For the environmental performance assessment, major environmental impact categories from a viewpoint of buildings and major building materials with high occurrence rates of major environmental impact were selected, and a building life cycle scenario that includes a construction stage, an operation stage, and end-of-life stage was established. For the economic performance assessment, major cost categories, which significantly affect decision making of stakeholders, and major building materials with high proportion of direct construction cost were selected, and the life cycle costing method that are composed of private costs and external costs of buildings were proposed. For the social performance assessment, various social topics were investigated, and a social performance assessment method using the major building materials was proposed. These assessment method enabled the proposal of the building LCSA method.

1. 서론

급격한 인구 증가와 기술 중심적 산업발전에 기인한 지구환경 문제에 대응하고자 모든 산업에서 지속가능한 개발이 강조되고 있다¹⁾. 이 중 대규모의 에너지와 자원을 소비하는 건축산업에서는 다양한 인증제도와 설계기준 등을 통해 지속가능한 건축물을 관리하고 있지만 주로 상대적인 배점 으로 구성되는 평가방법으로 인해 건축물의 지속가능성을 정량적으로 평가하기 어렵다는 한계점이 있다²⁾. 이러한 이유로 인해 최근에는 제품의 지속가능성을 평가하는 전과정 지속가능성 평가 (LCSA, Life Cycle Sustainability Assessment) 방법을 건축물에 적용하여 건축물의 지속가능성을 정량적으로 평가하고 이를 제고하고자 하는 연구가 시도되고 있다³⁾.

따라서 본 연구는 LCSA 방법을 준용하여 건축물의 전과정 지속가능성을 평가하는 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 건축물 LCSA의 평가항목을 전과정 측면의 환경성 평가, 경제성 평가, 사회성 평가로 구분하고 각 평가항목에 대한 세부적인 평가방법을 제안하였다. 환경성 평가를 위해 주요 환경영향 범주를 선정하고 주요 환경영향에 대한 누적기여도가 높은 주요 건축자재를 도출하였으며, 전과정 시나리오를 구축하였다. 경제성 평가를 위해 주요 비용 범주를 선정하고 직접공사비 기준의 주요 건축자재를 도출하였으며, 현가분석방법에 기초한 전과정 비용 산출방법을 제안하였다. 사회성 평가를 위해 다양한 사회적 논제를 조사하고 주요 건축자재에 기초한 건축물 전과정 사회영향 산출방법을 이론적으로 제안하였다.

2. LCSA에 대한 이론적 고찰

2.1 LCSA 개념

LCSA는 제품 시스템의 전과정에 걸친 환경적, 경제적, 사회적 영향을 정량화하고 이를 하나의 지표로써 종합하여 제품 시스템의 지속가능성을 판단하는 기법이다⁴⁾. 이는 2008년 Klöpffer⁵⁾에 의해 지속가능성을 대표하는 3가지 평가모델인 환경적 전과정 평가(ELCA, Environmental Life Cycle Assessment), 환경적 전과정 비용 평가(ELCC, Environmental Life Cycle Costing), 사회적 전과정 평가(S-LCA, Social Life Cycle Assessment)의 평가결과를 합산하는 개념적인 식(LCSA = ELCA + ELCC + S-LCA)으로 제안되었고, 2012년 UNEP에서 발간된 “Towards a Life Cycle Sustainability Assessment⁶⁾”를 통해 LCSA의 평가방법과 시스템 경계를 포함한 세부적인 평가체계가 발표되었다. Fig. 1은 LCSA의 구조와 시스템 경계를 나타낸다.

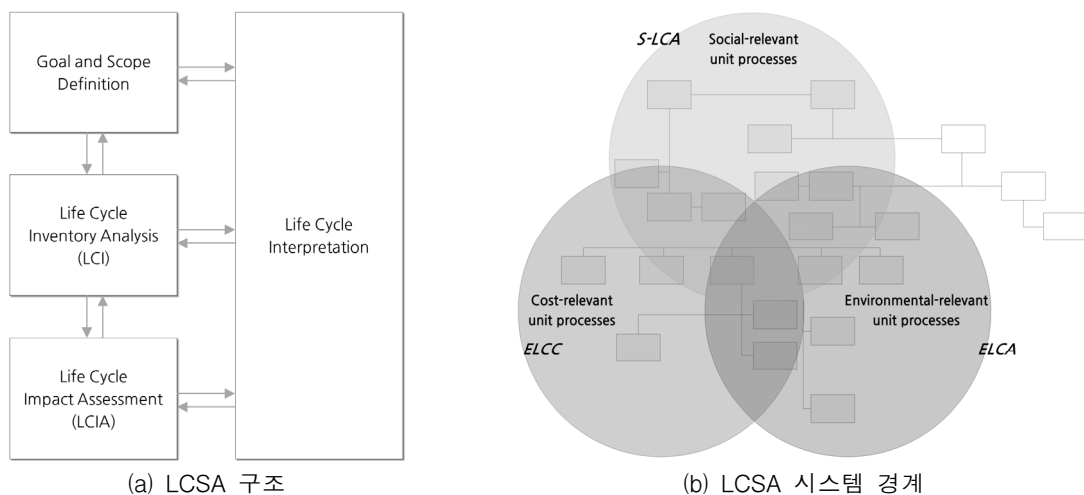


Figure 1. LCSA의 평가방법 및 시스템 경계⁶⁾

2.2 LCSA 연구동향

LCSA의 개념은 2003년 Klöpffer⁷⁾에 의해 최초로 제시되었으며, 다시 2008년 Klöpffer⁵⁾에 의해 ELCA, ELCC, S-LCA의 평가결과를 합산하는 개념적인 식으로 구체화되었다. 또한, 이는 2012년 UNEP의 “Towards a Life Cycle Sustainability Assessment⁶⁾”를 통해 전 세계적으로 공표되었다. 2011년에는 전과정 지속가능성을 단일의 통합 모델로 평가하자는 Life Cycle Sustainability

Analysis의 개념이 Guinée⁸⁾를 통해 제안되었지만 그 체계는 현재까지 개념적인 수준에 머물러 있는 것으로 분석되었다. LCSA는 그 역사가 매우 짧은 평가기법으로써 ELCA, ELCC, S-LCA를 모두 고려한 LCSA 관련 연구는 현재까지 미미한 실정이며, 일부 제품 또는 서비스를 대상으로 한 사례분석 중심의 연구가 진행되고 있다.

3. 건축물의 LCSA 방법 제안

본 연구에서는 건축물 LCSA의 평가항목을 건축물 전과정 측면의 환경성, 경제성, 사회성 평가로 구분하고 평가항목별로 요구되는 세부적인 평가방법을 제안하였으며, 이를 모두 종합하여 건축물의 LCSA 방법을 제안하였다.

3.1 건축물 전과정 측면의 환경성 평가

건축물 전과정 측면의 환경성 평가를 위해 요구되는 주요 환경영향 범주를 선정하였고 주요 환경영향 범주의 발생 비율이 높은 주요 건축자재를 도출하였으며, 전과정 시나리오를 구축하였다.

3.1.1 주요 환경영향 범주 선정

본 연구는 건축물 전과정 평가와 관련된 표준과 지침, 녹색건축물 인증제도, 전과정 평가 프로그램에서 적용하고 있는 환경영향 범주를 분석하여 주요 환경영향 범주를 선정하였다. 그 결과, Table 1과 같이 건축물 전과정 평가 관련 표준과 지침, 녹색건축물 인증제도, 전과정 평가 프로그램에서 지구온난화, 산성화, 부영양화, 오존층 파괴, 광화학적 산화물 생성을 주로 적용하고 있는 것을 확인하였다. 한편, 최근 건축산업에서는 전술된 환경영향 범주 이외에도 자원의 효율화에 대한 관심이 증가하고 있다⁹⁾. 이에 본 연구에서는 지구온난화, 산성화, 부영양화, 오존층 파괴, 광화학적 산화물 생성, 자원고갈의 총 6가지 환경영향 범주를 주요 환경영향 범주로 선정하였다.

Table 1 환경영향 범주 적용 현황

구분		개발 국가	지구 온난화	산성화	부영양화	오존층 파괴	광화학적 산화물	자원 고갈	생태 독성	인체 독성	그 외
표준 및 지침	ISO 21931-1	국제	■	■	■	■	■	□	□	□	□
	IgCC	국제	■	■	■	■	■	□	□	□	□
녹색건축물 인증제도	LEED	미국	■	■	■	■	■	■	□	□	□
	BREEAM	영국	■	■	■	■	■	■	■	■	■
전과정 평가 프로그램	Athena	캐나다	■	■	■	■	■	■	□	□	□
	Invest2	영국	■	■	□	■	■	■	■	□	■
	EQUER	프랑스	■	■	□	■	■	■	■	■	■
	BEES	미국	■	■	■	■	■	■	■	□	□
	LISA	호주	■	■	□	■	■	□	□	□	□

3.1.2 주요 건축자재 도출

국내에서 건설된 6가지 공동주택의 환경영향을 평가하여 주요 환경영향 범주의 누적기여도 95% 이상의 주요 건축자재를 Fig. 2와 같이 도출하였다. 지구온난화는 레미콘, 철근, 콘크리트벽돌, 석고보드, 유리가 95% 이상의 기여도를 나타내었고 산성화는 레미콘, 철근, 단열재, 석고보드, 콘크리트벽돌이 높은 기여도를 나타냈다. 부영양화는 레미콘, 철근, 석고보드, 콘크리트벽돌의 기여도가 높았으며, 오존층 파괴와 광화학적 산출물 생성은 레미콘과 철근만으로도 95% 이상의 기여도

를 차지하는 것으로 분석되었다. 자원고갈은 레미콘, 철근, 단열재, 유리, 콘크리트 벽돌이 95% 이상을 차지하는 것으로 분석되었다. 이에 본 연구에서는 6가지 주요 환경영향 범주의 95% 이상을 야기하는 주요 건축자재로서 레미콘, 철근, 단열재, 콘크리트벽돌, 유리, 석고보드를 도출하였다.

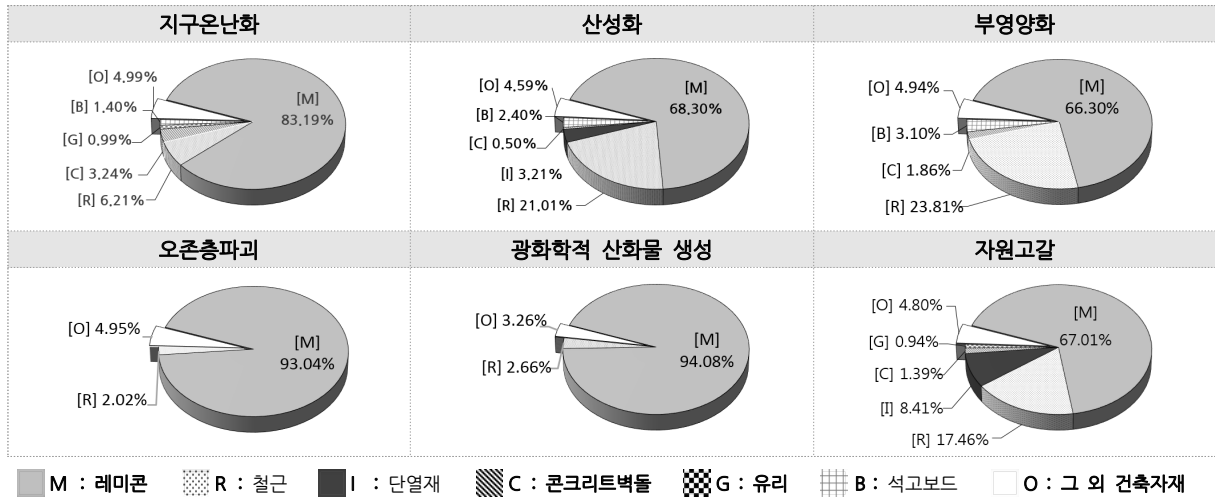


Figure 2 주요 건축자재 분석결과

3.1.3 전과정 시나리오 구축

ISO 21931-1¹⁰⁾에 따르면 건축물의 전과정 단계는 생산단계, 시공단계, 운영단계, 폐기단계로 구분되며, 생산단계를 제외한 시공단계, 운영단계, 폐기단계에서 시나리오가 요구되어 진다. 따라서 본 연구에서는 시공단계, 운영단계, 폐기단계의 시나리오를 Fig. 3과 같이 구축하였다¹¹⁾.

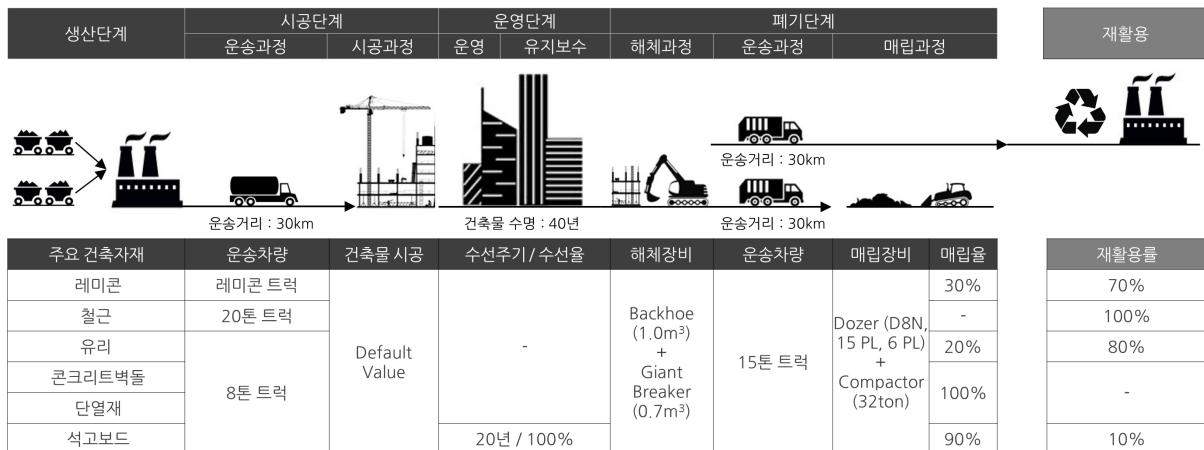


Figure 3 전과정 시나리오¹¹⁾

3.1.3.1 시공단계

시공단계는 운송과정과 시공과정으로 구분된다. 운송과정은 건축자재가 업체에서 시공현장까지 운송차량에 의해 운송되는 과정을 의미한다. 건축공사 표준품셈¹²⁾을 분석한 결과, 레미콘의 수송에는 레미콘 믹스트럭이 사용되고 철근과 형강 수송에는 20ton 트럭이 주로 사용되었으며, 그 외의 건축자재는 일반적으로 8ton 트럭이 사용됨을 알 수 있었다. 이때, 모든 건축자재는 30km 이내의 업체에서 조달받는 것으로 가정하였다. 시공과정은 건축물 시공과정에서 사용되는 장비와 현장

사무소 운영에 의한 에너지소비량을 평가한다. 본 연구는 지구별 예산내역서와 일위대가를 이용하여 시공과정의 에너지소비량을 간접적으로 산출한 기존 연구자료¹³⁾와 최근 준공된 공동주택 5건의 전력소비 실측량과 공사일보를 분석하여 시공과정의 단위면적당 에너지소비량을 산출하였다.

3.1.3.2 운영단계

운영단계는 에너지 사용과정과 유지관리과정으로 구분되며, 전과정 측면의 환경성 평가과정에서 건축물의 수명에 큰 영향을 받는다. 건축물의 수명은 그 목적과 판단기준에 따라 물리적 수명, 기능적 수명, 사회적 수명, 경제적 수명, 법적 수명으로 구분된다. 본 연구에서는 국내 법인세법에서 규정하고 있는 법적 수명인 40년을 적용하여 시나리오를 구축하였다. 한편, 유지관리과정에서는 건축물의 개보수를 위해 신규로 투입되는 건축자재의 환경영향을 평가한다. 이에 주택법 시행규칙에서 제시하는 건축자재별 수선주기와 수선율에 기초한 환경영향 평가방법을 적용하였다.

3.1.3.3 폐기단계

폐기단계는 해체과정, 운송과정, 매립과정으로 구분된다. 해체과정은 건축물의 해체작업에 투입되는 장비의 에너지소비량을 평가한다. 해체과정의 폐건축자재 발생량은 생산단계에서 투입된 건축자재의 수량과 동일하게 설정하였고 해체장비는 기존 연구¹⁴⁾의 결과에 따라 Backhoe (1.0m³) + Giant Breaker (0.7m³)로 설정하였다. 운송과정은 폐건축자재를 처리장까지 운송하는 과정을 의미한다. 운송차량은 건설표준품셈¹²⁾에 따라 15ton 트럭을 적용하였고 운송거리는 30km로 가정하였다. 매립과정은 폐건축자재의 매립과정을 의미한다. 본 연구는 Cut-off method를 적용하여 재활용되지 못한 폐건축자재의 매립과정만을 고려하였다. 매립장비는 Dozer (D8N, 15 PL, 6 PL) + Compactor (32ton)¹⁴⁾로 설정하였고 폐기물통계연감에 따라 건축자재별 재활용률을 적용하였다.

3.2 건축물 전과정 측면의 경제성 평가

본 연구에서는 전과정 측면의 경제성 평가를 위한 주요 비용 범주를 선정하였고 직접공사비 기준의 주요 건축자재를 도출하였으며, 현가분석방법에 기초한 전과정 비용 산출방법을 제안하였다.

3.2.1 주요 비용 범주 선정

Table 2와 같이 건축물 전과정 비용은 초기투자비용, 운영비용, 철거비용, 기타비용으로 구성되며, 세부적으로 기획·설계비, 직접공사비, 운영 에너지 비용, 유지보수비용, 일반관리비용, 철거비용 등으로 구분된다. 본 연구는 다양한 전과정 비용 범주 중 건축물에 물리적으로 종속되지 않는 기획·설계비, 일반 관리비용, 지원금은 주요 비용 범주에서 제외하였다. 한편, 철거비용은 건축물에 물리적 비용으로 종속되나 이를 사전에 파악하기 어렵고 건축물의 전과정 비용에서도 차지하는 비율이 미미한 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구는 주요 비용범주로 직접공사비(재료비+노무비+경비), 운영 에너지 비용, 유지보수비용을 선정하였다.

Table 2 전과정 비용 범주

대분류	초기투자비용					운영비용					철거비용		기타	
중분류	기획·설계비		직접공사비			에너지 비용		유지보수비용		일반관리비용		철거비용		지원금
소분류	기획비	설계비	재료비	노무비	경비	전기요금	가스요금	수리부품비	교체비	세금	보험료	철거비	잔존가치	각종지원금

3.2.2 주요 건축자재 도출

건축물에 투입되는 건축자재 중 직접공사비의 비율이 높은 주요 건축자재를 도출하기 위해 앞서 “3.1.2 주요 건축자재 도출”에서 선정된 6가지 공동주택의 물량산출서를 기준으로 직접공사비의 누적기여도 95% 이상을 차지하는 주요 건축자재를 분석하였다. 그 결과, 레미콘, 철근, 유리, 콘크리트벽돌, 단열재, 석고보드, 창호, 석재, 타일, 페인트이 주요 건축자재로 도출되었다.

3.2.3 전과정 비용 산출방법

본 연구에서는 전과정 비용을 평가하기 위해 현가 분석방법을 준용한 산출식을 제안하였다. 현가 분석방법은 사업초기에 투입되는 초기비용, 매년 동일하게 발생하는 반복비용과 간헐적으로 발생하는 비반복비용으로 구성된다. 이에 직접공사비는 초기비용, 연간 에너지 비용은 반복비용, 유지보수비용은 비반복비용으로 설정하였다. 한편, ELCC에서는 종래의 전과정 비용을 의미하는 사적비용과 전과정 환경영향을 비용으로 환산한 외부비용을 함께 평가해야 함에 따라 본 연구에서는 전과정 비용 산출식을 식 1과 같이 제안하였다. 여기서 PC_C 와 EC_C 은 직접공사비(사적비용)과 생산단계 외부비용, PC_E 와 EC_E 는 연간 에너지소비에 대한 사적비용과 외부비용, PC_M 과 EC_M 은 유지보수에 대한 사적비용과 외부비용을 의미하며, i 는 실질이자율, n 은 건축물 수명, k 는 건축물 수명 40년 동안 건축자재의 수선 횟수, a 는 수선주기를 나타낸다.

$$ELCC = (PC_C + EC_C) + \sum_{n=1}^{40} \frac{(PC_E + EC_E) \times (1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n} + \sum_{k=1}^k \frac{(PC_M + EC_M)}{(1+i)^{ak}} \dots\dots\dots (1)$$

사적비용의 평가를 위해서는 직접공사비, 운영 에너지 비용, 유지보수비용을 산출해야 한다. 직접공사비는 전술한 10가지 주요 건축자재의 투입량과 단가의 곱을 통해 산출 가능하며, 에너지 비용은 연간 에너지 소비량과 단가, 유지보수비용은 건축자재의 투입량과 수선을 그리고 단가의 곱을 통해 식 2, 식 3, 식 4와 같이 평가할 수 있다. 여기서 PC_C 와 PC_E 는 직접공사비와 연간 에너지소비량의 사적비용, $Q_{m,i}$ 와 $U_{c,i}$ 는 주요 건축자재 (i)의 물량과 직접공사 단가, $Q_{e,i}$ 와 $U_{e,i}$ 는 에너지원 (i)의 연간 소비량과 에너지원 (i)의 단가, R_i 는 주요 건축자재 (i)의 수선율을 의미한다.

외부비용은 환경경제학에서 정립된 환경영향의 경제 가치화 이론을 LCIA에 접목하여 비용으로 환산 가능하다. 국내의 경우, 종말점 수준의 피해산정 방법을 통해 4가지 보호대상(인체건강, 사회 자산, 생물다양성, 1차 생산)의 가치를 한계지불의사비용으로 분석한 KOLID⁵⁾의 경제가치비용을 이용하여 식 5, 식 6, 식 7과 같이 외부비용을 산출할 수 있다. 여기서 EC_C 와 EC_E 는 직접공사비와 연간 에너지소비량의 외부비용, $Q_{m,i}$ 와 $Q_{e,i}$ 는 주요 건축자재 (i)의 물량과 에너지원 (i)의 연간 소비량, $I_{m,i}$ 와 $I_{e,i}$ 는 주요 건축자재 (i)와 에너지원 (i)의 환경영향에 따른 보호대상별 피해규모 원단위, F_{ec} 는 KOLID의 경제가치 비용, R_i 는 주요 건축자재 (i)의 수선율을 의미한다.

$$PC_C = \sum_{i=1}^{10} (Q_{m,i} \times U_{c,i}) \dots\dots\dots (2)$$

$$PC_E = \sum_{i=1}^n (Q_{e,i} \times U_{e,i}) \dots\dots\dots (3)$$

$$PC_M = \sum_{i=1}^{10} (Q_{m,i} \times U_{c,i} \times R_i) \dots\dots\dots (4)$$

$$EC_C = \sum_{i=1}^6 (Q_{m,i} \times I_{m,i} \times F_{ec}) \dots\dots\dots (5)$$

$$EC_E = \sum_{i=1}^n (Q_{e,i} \times I_{e,i} \times F_{ec}) \dots\dots\dots (6)$$

$$EC_M = \sum_{i=1}^6 (Q_{m,i} \times I_{m,i} \times F_{ec} \times R_i) \dots\dots\dots (7)$$

3.3 건축물 전과정 측면의 사회성 평가

건축물 전과정 측면의 사회성 평가를 위해 다양한 사회적 논제를 조사하고 주요 건축자재에 기초한 건축물의 전과정 사회영향 산출방법을 이론적으로 제안하였다.

3.3.1 사회적 논제 조사

전과정 사회영향은 이해관계자인 근로자, 소비자, 지역사회, 사회, 가치사슬 범주에 미치는 영향과 사회적 관심을 세부적인 항목으로 분류한 사회적 논제를 통해 정량화될 수 있다⁶⁾. 본 연구는 UNEP, ISO 26000, WBCSD, GRI, GSCP 등에서 제시하고 있는 사회적 논제를 Table 3과 같이 조사하였다. UNEP에서는 이해관계자인 근로자, 소비자, 지역사회, 사회, 가치사슬 범주 전반에 걸쳐 총 31가지의 사회적 논제를 제시하였고 ISO 26000, WBCSD, GRI에서는 각각 41가지, 15가지, 23가지의 사회적 논제를 제시한 것으로 조사되었다. GSCP에서는 근로자 범주에 대한 총 7가지의 사회적 논제를 제시하고 있음을 확인하였다. 한편, 사회적 논제는 다수의 이해관계자별로 수많은 이슈가 존재함에 따라 평가대상 건축물의 특성과 평가목적에 적합한 사회적 논제를 선정하여 건축물의 전과정 사회영향을 평가할 수 있을 것이다¹⁷⁾.

Table 3 사회적 논제 제시 현황

이해관계자	사회적 논제	UNEP	ISO 26000	WBCSD	GRI	PRé	GSCP
근로자	아동노동(Child labour)	■	■	■	■	■	■
	근무시간(Working hours)	■	■	-	-	■	■
	건강 및 안전(Health and safety)	■	■	■	■	■	■
	교육 및 훈련(Training and education)	-	■	■	■	■	-
소비자	건강 및 안전(Health and safety)	■	■	■	■	■	-
	프라이버시(Consumer privacy)	■	■	■	■	-	-
	투명성(Transparency)	■	■	-	■	-	-
지역사회	지역사회 약속(Community engagement)	■	■	■	■	■	-
	지역고용(Local employment)	■	■	-	■	-	-
사회	기술개발(Technology development)	■	■	-	-	-	-
	사회적 부패(Corruption)	■	■	■	■	-	-
가치사슬	공정경쟁(Fair competition)	■	■	-	■	-	-
	사회적 책임(Social responsibility)	■	■	-	-	-	-

3.3.2 전과정 사회영향 평가방법

건축물 전과정 측면의 사회성은 건축물에 투입되는 주요 건축자재의 전과정 사회영향을 건축물 관점으로 합산하여 평가할 수 있다. 이때, 건축자재의 사회영향 원단위는 식 8과 같이 사회적 논제별로 획득한 점수를 통해 산출 가능하며, 식 9와 같이 주요 건축자재의 수량과 주요 건축자재별 사회영향 원단위를 이용하여 건축물의 전과정 사회영향을 평가할 수 있다. 여기서 SIC_i 는 건축자재 (i)의 사회영향 원단위, A_i 는 건축자재의 기능단위를 고려한 건축자재 (i)의 가중치, ST_{ij} 는 건

축자재 (i)에 대한 근로자 범주의 사회적 논제 (j)의 점수, WF_j 는 근로자 범주의 사회적 논제 (j)에 대한 가중치, n 은 이해관계자 범주별 사회적 논제의 가지 수, $ST_{i,k}$ 는 건축자재 (i)에 대한 소비자 범주의 사회적 논제 (k)의 점수, WF_k 는 소비자 범주의 사회적 논제 (k)에 대한 가중치, α , β 는 이해관계자 범주의 가중치를 의미하며, 지역사회, 사회, 가치사슬의 사회영향도 동일한 방법으로 구축될 수 있다. 또한, SIR은 건축물의 전과정 사회영향 평가결과, Q_k 는 주요 건축자재 (k)의 수량, U_k 는 단위환산계수, SIC_k 는 주요 건축자재 (k)의 사회영향 원단위를 나타낸다. 한편, 전과정 사회영향 평가는 현재까지 표준화된 평가방법이 부재함에 따라 전과정 환경영향 평가 및 전과정 비용 평가에서 도출된 10가지 주요 건축자재를 평가하는 것으로 설정하였다. 이를 통해 건축물 관점의 전과정 사회영향 평가결과(0의 초과 여부 및 그 정도)를 통해 건축물이 내포하는 사회적인 긍정 또는 부정적인 영향과 그 수준을 유용하게 판단할 수 있을 것으로 사료된다.

$$SIC_i = A_i \times \left(\alpha \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n (ST_{i,j} \times WF_j)}{2n} \right) + \beta \times \left(\frac{\sum_{k=1}^n (ST_{i,k} \times WF_k)}{2n} \right) + \dots \right) \dots\dots\dots (8)$$

$$SIR = \sum_k (Q_k \times U_k \times SIC_k) \dots\dots\dots (9)$$

3.4 건축물의 LCSA 방법 제안

전술한 건축물 전과정 측면의 환경성 평가, 경제성 평가, 사회성 평가방법을 준용한 건축물 LCSA 방법을 제안하였다. Fig. 4는 본 연구에서 제안된 건축물의 LCSA 개념도를 나타낸다.

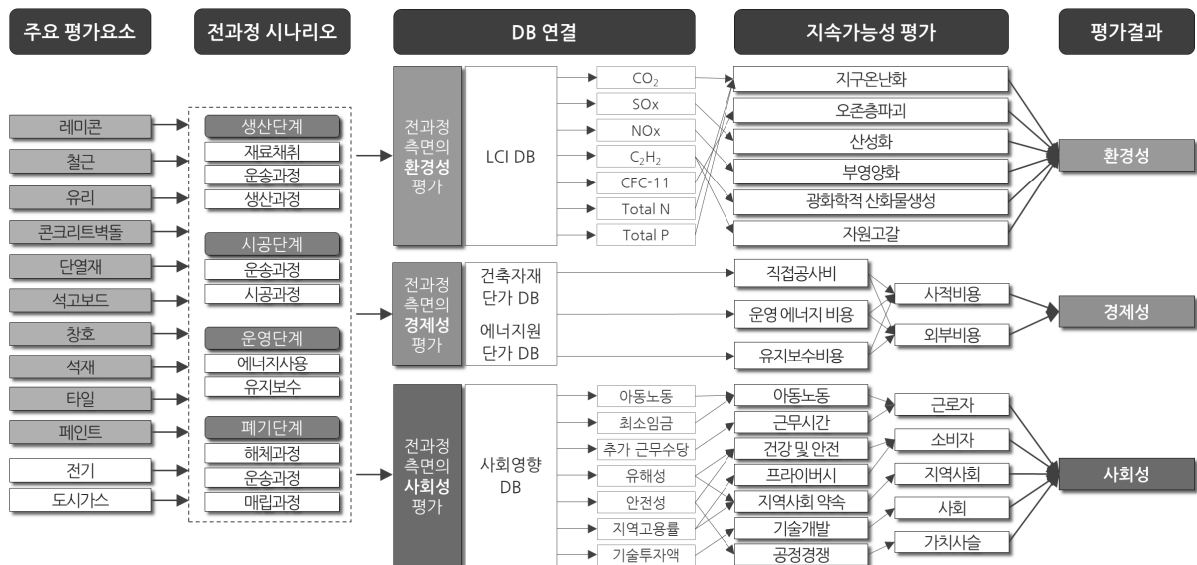


Figure 4 건축물 LCSA 개념도

3.4.1 목적 및 범위정의

3.4.1.1 목적 정의

목적 정의에서는 LCSA를 구성하는 건축물 전과정 측면의 환경성 평가, 경제성 평가, 사회성 평가에 대한 공통의 목적을 정의해야 한다. 본 연구는 건축물 LCSA의 체계적인 수행을 목적으로 정의하였다. 적용분야는 건축물의 전과정 지속가능성을 정량적으로 판단하기 위한 이해관계자의

의사결정 지원이며, 목표청중은 건축주, 건축사를 비롯한 건축사업의 이해관계자로 정의하였다. 또한, 동일 건축사업 내 다수의 대안 건축물과 평가결과의 비교가 가능하도록 정의하였다.

3.4.1.2 범위 정의

LCSA에서는 건축물 전과정 측면의 환경성 평가, 경제성 평가, 사회성 평가의 기능단위가 반드시 통일되어야 한다. 본 연구에서는 건축물 전과정 측면의 환경성 평가, 경제성 평가, 사회성 평가의 기능단위를 단위 전용면적(m²)으로 통일하였다. 시스템 경계도 통일되는 것이 이상적이거나 본 연구에서는 건축물의 환경적, 경제적, 사회적 관점에 따라 중요하게 다뤄지는 평가 범주가 달라지는 것을 고려하여 시스템 경계를 다음과 같이 설정하였다. 환경성 평가는 주요 환경영향 범주로 선정된 6가지 환경영향 범주를 대상으로 6가지 주요 건축자재에 기인한 생산단계, 시공단계, 폐기단계와 운영단계 40년 동안의 에너지소비량에 의한 환경영향을 평가하도록 정의하였다. 경제성 평가는 건축물의 생산단계, 시공단계, 운영단계를 평가하며, 10가지 주요 건축자재와 운영단계 40년 동안의 에너지소비량에 의한 직접공사비, 운영 에너지비용, 유지보수비용의 사적비용과 외부비용을 평가하도록 정의하였다. 사회성 평가는 건축물의 생산단계만을 평가하되 직접공사비 측면에서 도출된 10가지 주요 건축자재에 대한 사회영향을 평가하는 것으로 정의하였다.

3.4.2 전과정 목록분석

LCI 단계는 시스템 경계로 설정된 건축물의 전과정 단계에 따라 투입되는 주요 건축자재와 에너지원의 투입량 정보를 수집하고, 이를 기능단위인 단위 전용면적(m²)으로 나누어 GtG 데이터(Gate to gate data)를 작성하는 것으로 설정하였다. 이때, 주요 건축자재의 투입량과 연간 에너지소비량 정보는 각각 건축물의 물량산출서와 에너지 시뮬레이션을 통해 수집할 수 있다. 또한, 시공단계와 폐기단계의 에너지소비량 정보는 “3.1.3 전과정 시나리오 구축”에서 전술한 시나리오를 통해 수집이 가능하다. 한편, 본 건축물 LCSA 방법에서 건설폐기물의 발생과 재활용에 따른 영향은 고려하지 않는 것으로 가정하였다. 이렇게 수집된 단위 전용면적(m²) 당 건축자재와 에너지원의 정보는 GtG 데이터로 작성되어 전과정 측면의 환경성 평가(또는 경제성 평가의 외부비용)를 위해 환경영향 원단위와 연결될 수 있다. 또한, GtG 데이터와 조달청의 시설공사 가격정보, 에너지원별 단가, 실질이자율 등을 이용하여 경제성 평가 중 사적비용을 평가할 수 있다.

3.4.3 전과정 영향평가

LCIA 단계는 ISO 14044를 준용하여 LCI 단계에서 수집된 데이터를 중심으로 제품 시스템에 대한 잠재적인 지속가능성(전과정 측면의 환경성, 경제성, 사회성)을 평가하는 것으로 설정하였다. 특히, 환경성 평가는 LCI 단계에서 작성된 GtG 데이터와 국가 LCI DB 등을 이용한 환경영향 원단위를 이용하여 최종 평가결과를 산출하며, 사회성 평가는 주요 건축자재의 수량 정보와 사회영향 원단위를 이용하여 건축물에 대한 잠재적인 사회영향을 평가하는 것으로 설정하였다.

3.4.4 전과정 해석

전과정 해석 단계는 UNEP의 “Towards a Life Cycle Sustainability Assessment⁶⁾”와 ISO 14040에서 제시한 사항에 따라 LCI 단계와 LCIA 단계로부터 도출된 평가결과를 분석하고 LCSA에 대한 최종 결론과 지속가능성을 제고하기 위한 개선방안을 도출하는 것으로 설정하였다.

4. 결론

본 연구는 LCSA 방법을 준용하여 건축물의 전과정 지속가능성을 평가하는 방법을 제안할 목적으로 하며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 건축물 전과정 측면의 환경성, 경제성, 사회성을 평가하는 방법을 제안하고 이를 통합하여 건축물의 LCSA 방법을 제안하였다.
2. 환경성 평가를 위한 주요 환경영향 범주로 지구온난화, 산성화, 부영양화, 오존층파괴, 광화학적 산화물생성, 자원고갈을 선정하고 그 발생 비율이 높은 레미콘, 철근, 단열재, 콘크리트벽돌, 유리, 석고보드를 주요 건축자재로 도출하였으며, 시공, 운영, 폐기단계의 전과정 시나리오를 구축하였다.
3. 경제성 평가를 위한 주요 비용 범주로 직접공사비, 운영 에너지 비용, 유지보수비용을 선정하고 직접공사비 관점에서 레미콘, 철근, 유리, 콘크리트벽돌, 단열재, 석고보드, 창호, 석재, 타일, 페인트를 주요 건축자재로 도출하였으며, 현가분석방법에 기초한 전과정 비용 산출식을 제안하였다.
4. 사회성 평가를 위해 다양한 사회적 논제를 조사하고 주요 건축자재를 이용하는 건축물의 전과정 사회영향 산출식을 이론적으로 제안하였다.

5. 사사

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (과제번호: 20110028794)

6. 참고문헌

1. Bagheri A, Hjorth P. Planning for Sustainable Development: a Paradigm Shift Towards a Process-Based Approach, Sustainable Development Vol.15, p. 83~96
2. Asdrubail F, Baldassarri C, Fthenakis V. Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings, Energy and Buildings Vol.64, p. 73~89
3. Braganca L, Mateus R, Koukkari H. Building Sustainability Assessment. Sustainability Vol.2 p. 2010~2023
4. Zamagni A, Pesonen H, Swarr T. From LCA to Life Cycle Sustainability Assessment: Concept, practice and future directions, Int. J. Life Cycle Assess Vol.18, p. 1637~1641
5. Klöpffer W. Life cycle sustainability assessment of products, International Journal of Life Cycle Assessment Vol.13, p. 89~95
6. UNEP, "Towards a Life Cycle Sustainability Assessment", 2011
7. Klöpffer W. Life-Cycle Based Methods for Sustainable Product Development, Int. J. Life Cycle Assess Vol.8, p. 157~159
8. Guinée JB, Heijungs R, Huppes G, Zamagni A, Masoni P, Buonamici R, Ekvall T, Rydberg T. Life cycle assessment: past, present, and future, Environ Sci Technol Vol.45, p. 90~96
9. Xiao J, Li W, Fan Y, Huang X. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996 - 2011), Construction and Building Materials Vol.31, p. 364~383

10. ISO, "ISO 21931-1: Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works - Part 1: Buildings". 2010
11. Roh S, Tae S, Suk SJ, Ford G, Shin S. Development of a building life cycle carbon emissions assessment program (BEGAS 2.0) for Korea's green building index certification system, Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 53, P. 954~965
12. 적산연구회, "건축공사표준품셈 건축공사일위대가", 2016
13. 한국건설기술연구원, "건축물의 LCA(Life Cycle Assessment)를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구", 2004
14. 권석현, 김경주, 김병수, 김상범, LCI DB를 활용한 해체공사 환경경제성 평가, 한국건설관리학회, 2008
15. 친환경상품진흥원, "친환경제품 보급 활성화를 위한 제품의 가치 통합평가기술 개발 및 적용", 2009
16. UNEP, "Guideline for Social Life Cycle Assessment of Products", 2009
17. 노승준, 태성호, 레미콘의 사회영향 평가에 관한 기초적 연구, 한국콘크리트학회 2016 봄 학술대회 논문집, P. 419~420