

녹색건축인증제 내 건축물 전과정 평가 방법에 따른 환경영향 평가 사례 연구

김현식¹ · 태성호^{2,*} · 김낙현¹

¹한양대학교 친환경건축기술연구소

²한양대학교 공학대학 건축학부

The Study on Environmental Impacts of Buildingusing Life Cycle Assessment of G-SEED

Hyunsik Kim¹ · Sung Ho Tae^{2,*} · Rak Hyun Kim¹

¹Sustainable Building Research Center, Hanyang University

²School of Architecture & Architectural Engineering Hanyang University

ABSTRACT: LCA (Life Cycle Assessment) analysis for buildings became a part of G-SEED (Green Standard for Energy and Environmental Design), which is a certificate program for green building in South Korea, to provide additional credits for the certificate. In this research, LCA analysis of a specific building which fulfills G-SEED program is performed to verify the environmental impact during the entire life cycle of the building. Moreover, the results of the analysis are used to identify the period of building life cycle which provides environmental impact the most. As a result, practical solution to reduce environmental impact in architecture field is suggested.

Key words: Life Cycle Assessment, Green building, Environmental impact

1. 서 론

전 세계적으로 지구온난화에 대응하기 위하여 각종 온실가스·에너지 저감 기술 및 제도적 장치에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 가운데, 건설부문에서도 미국의 LEED, 영국의 BREEAM 및 싱가포르의 Green Mark 등의 녹색건축인증 제도들을 마련하여 건축물로 인한 환경부하 및 온실가스 배출 저감을 위하여 노력하고 있다¹⁾. 대한민국에서도 2002년부터 녹색건축인증제(Green Standard for Energy and Environmental Design; 이하 G-SEED)를 시행하여²⁾ 세계적인 추세에 맞춰 건설산업에서 발생하는 환경부하를 저감하기 위하여 노력하고 있다.

이러한 녹색건축인증제도가 시행됨에 있어서 건축물의 전생애 주기에서 발생될 수 있는 환경영향 배출량을 정량적으로 예측 및 평가하기 위하여 건축물의 전과정 평가(Life Cycle Assessment; LCA)가 인증항목으로 지정되어 녹색건축에 대한 인증기준을 강화하고 있다³⁾. 국내 G-SEED는 2016년에 건축물의 전과정 평가가 인증항목으로 신설되어 시행되고 있으며, 이를 통해 G-SEED에서의 추가 배점을 받을 수 있도록 제도가 마련되어 있다.

본 연구에서는 국내 건축물에 대하여 G-SEED의 인증항목으로 있는 전과정 평가를 수행하고, 평가결과로 도출되는 환경영향 값을 분석하고자 한다.

2. 녹색건축인증제 내 건축물 전과정 평가 방법 고찰

2.1 국내 녹색건축인증제(G-SEED)에서의 전과정 평가 내용

G-SEED에서는 2016년도부터 건축물 전과정평가 수행을 인증항목으로 도입하여 건축물의 전과정 단계별 환경부하 저감 계획 수립을 유도하기 위해 건축물 전과정에 대한 환경영향 평가를 수행하여 건축물 전생애주기 동안 발생하는 환경부하에 대한 정보를 평가하도록 하고 있다. 전과정 평가를 수행하고 제3자 검증을 실시한 경우 G-SEED 인증에서 2점이 가산되며, 개략 전과정 평가를 수행하고 제3자 검증을 실시한 경우 1점이 가산되도록 하여 자발적인 녹색건축인증을 유도하고 있다^{4),5)}.

또한, 건축물의 전과정 평가 및 개략 전과정 평가의 기준사항들을 G-SEED에서 제시하고 있으며, 이를 통하여 전과정 평가 과정의 일관성을 유지하고 평가된 결과의 객관성 및 신뢰성을 확보할 수 있도록 하였다. 국내 녹색건축인증에서의 전과정 평가 및 개략 전과정 평가 기준사항들은 Table 1과 같다.

Table 1과 같이 전과정 평가와 개략 전과정 평가의 두 가지 방법 중에 선택을 통해 평가를 수행할 수 있도록 하여 G-SEED 인증을 받는 데에 있어서 건축주가 유연한 판단을 할 수 있도록 하고 있다. 하지만, 각 평가에 대한 가산점의 차이로 인하여 실질적으로 점수에 민감한 G-SEED 인

* Corresponding author: 태성호 교수, (426-791) 경기도 안산시 상록구 한양대로 55 한양대학교 ERICA 캠퍼스 건축학부, Tel: 031-400-5187, Fax: 031-406-7118, Email: jnb55@hanyang.ac.kr

Table 1. G-SEED 전과정 평가 및 개략 전과정 평가 기준사항^{4),5)}

구분	조건사항
전과정평가	<ul style="list-style-type: none"> • 건축물의 수명은 50년으로 가정 • 건축물의 LCA 생산과정에 투입되는 물질에 대한 cut-off는 99%를 적용함 아래의 6대 환경영향범주 중에서 지구온난화지수(온실가스 배출량)는 반드시 평가항목에 포함하여야 하며, 그 외 2가지 이상의 항목을 포함 <ul style="list-style-type: none"> - 지구온난화지수(온실가스배출량, kgCO₂eq.) - 오존층영향(kgCFC-11eq.) - 산성화(H⁺ 또는 kgSO₂eq.) - 부영양화(kgPO₄3eq.) - 광화학적 산화물생성(kgC₂H₄eq.) - 자원소모(kg antimony eq.) • 환경성적표지심사원에 의한 제3자 검증보고서를 제출
개략 전과정평가	<ul style="list-style-type: none"> • 건축물의 수명은 50년으로 가정 • 레미콘, 시멘트, 석재, 골재, 철근, 목재, 유리 등에 대한 10개 이내의 주요자재 대상 • 6대 환경영향범주 중에서 지구온난화지수(온실가스 배출량)는 반드시 평가항목에 포함

Table 2. 전과정 단계 및 단위과정

구분	단위과정명	설 명
생산단계	• 원재료 채취	원료의 채취와 가공, 제품의 제조 등 생산에 필요한 자원과 에너지를 소비하여 건축물에 투입될 건축자재를 생산하는 과정
	• 원재료 운송	
	• 제조	
시공단계	• 운송과정	건축물에 투입될 자재를 구입처 및 저장소에서 시공현장까지 운반하는 과정
	• 시공과정	현장에 운반된 자재를 각종 건설 장비를 활용하여 건축물을 시공하는 과정
운영단계	• 교체과정	시간이 지남에 따라 노후화되는 건물을 수선 및 보수를 통해 건물의 상태를 건설 초기 상황과 유사하게 유지하는 과정
	• 운영에너지 과정	거주자가 건물을 점유하는 동안 다양한 설비기계들을 이용하여 실내 환경을 쾌적하게 유지하면서 생활하는 과정
폐기단계	• 해체과정	건축물을 건설장비를 사용하여 해체하는 과정
	• 운송과정	해체 후 발생된 폐자재를 처리방법에 따라 해당 처리장으로 수송하는 과정
	• 폐기과정	재활용이 불가능한 폐자재를 소각, 매립하는 과정

중에서 주로 개략 전과정 평가보다는 전과정 평가를 선택하여 평가를 받는 경우가 많을 것으로 판단된다. 이에 따라, 본 연구에서는 선호도가 높을 것으로 예상되는 전과정 평가를 통하여 건축물의 환경영향을 분석하고자 한다.

2.2 건축물 전과정 평가 범위

2.2.1 전과정 단계 및 단위과정

건축물의 전과정 평가에 있어서 전과정 단계는 크게 생산단계, 시공단계, 운영단계, 폐기단계로 구분되며, 각 단계의 세부 과정에 해당하는 단위과정에 대한 세부 설명은 Table 2와 같다.

2.2.2 데이터 범주

데이터의 범주는 크게 투입물과 산출물로 나누었으며, 투입물은 원료물질 및 보조물질, 에너지로 구분되고 산출물은 제품 및 부산물, 배출물, 폐기물로 구분되었다. 또한, 평가에 활용할 정량적인 데이터로 건축공사 설계 내역서에서의 수량산출서를 이용하였으며, 실제 G-SEED 인증을 수행한 건축자재 수량을 활용함으로써 투입된 자재에 대한 전과정 평가의 적절성을 확보하였다.

3. 건축물의 전과정 평가 사례분석

3.1 평가 대상 건축물 개요

본 연구에서 전과정 평가를 수행한 시설은 철근콘크리

트구조로 이루어진 지상46층 및 지하3층의 생활숙박 및 판매시설 건축물이다. 지역지구로는 도시지역, 일반상업지역, 제1종 지구단위계획구역에 속하는 건축물이며, 이러한 지역지구 구분 중에서 특히 제1종 지구단위계획구역은 국토의 계획 및 이용에 관한 법률상 해당 구역으로 지정된 지역의 특성상 유동인구가 많은 관개로 생활숙박 및 판매시설이 보편적으로 많이 개발될 것으로 예상되는 바 본 연구에서의 건축물을 전과정 평가 대상 건축물로 선정하였다.

3.2 가정 및 제한사항

전과정 평가를 수행함에 있어서 각 전과정 단계별 가정 및 제한사항들을 설정하여 평가 기준을 명확하게 할 필요가 있다. 본 연구에서는 녹색건축인증제 내 건축물 전과정 평가 수행에서 제시하고 있는 가정 및 제한사항을 준용하여 평가 대상 건축물의 전과정 평가를 수행하였으며, 이는 Table 3과 같다.

3.3 데이터 수집 및 계산

본 연구에서 사용될 데이터는 크게 건축자재 데이터, 운영에너지 데이터 그리고 외부 전과정 목록 데이터로 나눌 수 있다. 각 데이터 분류에 대한 세부사항은 Table 4와 같다.

특히, 건축자재 데이터를 수집하는 단계에서 실제 설계 내역서를 바탕으로 전과정 평가에 사용될 수량을 누적질량기여도를 기준으로 상위 99% 이상을 포함시키고 하위 1% 이내의 자재는 제외기준(Cut-off Criteria)으로 선정하

Table 3. 전과정 단계별 가정 및 제한사항

전과정 단계		가정 및 제한사항
생산단계		타 건축물에서 이미 사용되었거나 향후 타 건축물에서 재사용될 수 있는 가설자재와 가설공중에 해당되는 기타 자재는 제외
시공단계	운송과정	운송차량은 건축공사 표준품셈을 참고하여 레미콘은 콘크리트 믹스트럭, 철근, 철골, 골재, 금속은 20톤 트럭, 그 외 건축자재는 8톤 트럭으로 가정하였고, 운송거리는 건축물 전과정 평가 작성지침에 따라 일괄적으로 30 km로 가정
	시공과정	문헌자료의 동종 유사 건축물에 대한 에너지소비량 데이터를 이용
운영단계	교체과정	공동주택 관리법의 수선주기 및 수선율을 적용, 건축물의 수명은 건축물 전과정 평가지침에 따라 50년을 적용
	운영에너지과정	건축물 에너지효율등급을 기준으로 연간 1차에너지소요량 적용
폐기단계	해체과정	해체장비는 브레이커(0.7 m ³) + 백호우(1.0 m ³)로 가정, 본 해체장비의 사용으로 인한 경우 소비량을 기준으로 환경영향 평가
	운송과정	건축공사 표준품셈 등을 참고하여 15 ton 트럭으로 설정, 운송거리는 G-SEED의 건축물 전과정 평가 작성 지침에 따라 일괄적으로 30 km로 가정
	폐기과정	전국 폐기물 발생 및 처리 현황을 참고하여 폐건축자재의 성상별 재활용율, 매립율, 소각율을 적용하여 폐건축자재의 수량을 추산

Table 4. 건축물 전과정 평가를 위한 데이터의 분류 및 세부사항

데이터 분류	데이터 세부사항
건축자재 데이터	생산단계의 환경영향을 평가하기 위해 건축물의 건축공사에 투입되는 건축자재의 종류와 수량 데이터를 수집
운영에너지 데이터	연간 1차 에너지 소요량 데이터를 수집하는 것으로 건축물 에너지효율등급 인증서(예비인증 시 건축물 에너지효율등급 예비인증서) 또는 이와 동등 수준 이상의 에너지시뮬레이션 결과값을 적용
외부 데이터	전과정 목록 데이터베이스(LCI DB)를 수집하는 것으로 해당 국가 공인 전과정 목록 데이터, 업계 평균 전과정 목록 데이터, 기타 전과정 목록 데이터를 수집

Table 5. 제외기준을 통한 평가대상 건축자재

건축자재 그룹	질량 기여도	누적질량기여도	전과정 평가 대상
레미콘	85.73%	85.73%	○
골재	4.47%	90.20%	○
철근	3.54%	93.73%	○
벽돌	2.65%	96.39%	○
시멘트	1.71%	98.10%	○
타일	0.57%	98.67%	○
유리	0.43%	99.09%	○
기타자재	0.35%	99.45%	×
석고보드	0.24%	99.69%	×
석재	0.15%	99.84%	×
단열재	0.10%	99.94%	×
철재	0.03%	99.98%	×
페인트	0.02%	100.00%	×
철골	0.00%	100.00%	×
목재	0.00%	100.00%	×

여 전과정 평가에서 제외하였으며, 이를 통하여 선정된 평가대상 건축자재는 Table 5와 같이 레미콘을 포함한 총 7개의 그룹으로 나타났다.

4. 전과정 평가 결과

4.1 건축물의 환경영향평가

본 연구에서는 대상 건축물의 제외기준을 통하여 선정

된 평가대상 건축자재 수량을 바탕으로 환경영향평가를 수행하기 위하여 환경부와 산업통상자원부에서 구축한 국가 LCI DB와 국토교통부에서 구축한 건축자재 환경성정보 국가 DB를 적용하였으며, G-SEED 내의 전과정 평가 및 개략 전과정 평가에서 요구되는 제3자 검증 절차를 통하여 전과정 평가 결과의 공신력을 확보하였다.

G-SEED에서 개략 전과정 평가와는 달리 전과정 평가를 수행함에 있어서는 필수 항목인 지구온난화 이외에 2가

지 이상의 항목을 추가로 평가하도록 되어 있다. 본 연구에서는 지구 환경의 보존과 관련하여 전세계적으로 이슈가 되고 있는 자원소모와 오존층에 대한 대상 건축물의 환경 영향을 평가 항목으로 선정하여 연구를 수행하였다.

또한, 생산단계, 시공단계, 운영단계, 폐기단계 중 운영 단계를 제외한 나머지 단계에서의 가정사항들은 실제 건설에서 활용되는 표준품셈을 기준으로 정해진 바, 전과정 평가를 수행함에 있어서 타당한 가정사항이라고 볼 수 있으나, 운영단계에서 건축물의 수명으로 설정된 50년은 실제 건축물의 지리적, 외부적 요인 등에 따라 변동 될 수 있

으며, 이에 따라 본 연구에서는 2017년 기준의 건축물 평균 수명 데이터⁶⁾를 토대로 G-SEED의 건축물 전과정 평가에서 가정된 건축물 수명의 타당성을 검토하기 위해 데이터의 민감도를 분석하였다.

4.1.1 지구온난화 평가

지구온난화에 대한 평가 결과는 Table 6과 같이 생산단계, 시공단계, 운영단계, 폐기단계에서 각각 6.16E+02 kg-CO_{2eq}/m², 3.30E+01 kg-CO_{2eq}/m², 2.09E+03 kg-CO_{2eq}/m², 3.72E+01 kg-CO_{2eq}/m²으로 분석되었으며, 각 단계별 기여도는 22.17%,

Table 6. 지구온난화 평가 결과

구분	건물단위 배출량 (kg-CO _{2eq})	단위면적당 배출량 (kg-CO _{2eq} /m ²)	기여도 (%)	
생산단계	5.58E+07	6.16E+02	22.17	
시공단계	운송과정	2.14E+06	2.36E+01	0.85
	시공과정	8.55E+05	9.43E+00	0.34
운영단계	교체과정	1.14E+06	1.26E+01	0.45
	운영에너지과정	1.89E+08	2.08E+03	74.85
폐기단계	해체과정	3.26E+06	3.60E+01	1.30
	운송과정	6.85E+02	7.55E-03	0.00
	매립과정	1.08E+05	1.19E+00	0.04
총 합	2.52E+08	2.78E+03	100.00	

Table 7. 자원소모 평가 결과

구분	건물단위 배출량 (kg-Sb _{eq})	단위면적당 배출량 (kg-Sb _{eq} /m ²)	기여도 (%)	
생산단계	2.49E+05	2.75E+00	17.93	
시공단계	운송과정	1.42E+04	1.56E-01	1.02
	시공과정	7.51E+03	8.28E-02	0.54
운영단계	교체과정	7.47E+03	8.24E-02	0.54
	운영에너지과정	1.09E+06	1.20E+01	78.25
폐기단계	해체과정	2.39E+04	2.64E-01	1.72
	운송과정	4.62E+00	5.09E-05	0.00
	매립과정	5.02E+00	5.54E-05	0.00
총 합	1.39E+06	1.54E+01	100.00	

Table 8. 오존층영향 평가 결과

구분	건물단위 배출량 (kg-CFC11 _{eq})	단위면적당 배출량 (kg-CFC11 _{eq} /m ²)	기여도 (%)	
생산단계	4.17E+00	4.60E-05	66.25	
시공단계	운송과정	7.73E-01	8.53E-06	12.29
	시공과정	2.18E-04	2.40E-09	0.00
운영단계	교체과정	1.29E-02	1.43E-07	0.21
	운영에너지과정	4.69E-03	5.17E-08	0.07
폐기단계	해체과정	1.33E+00	1.47E-05	21.17
	운송과정	2.52E-04	2.78E-09	0.00
	매립과정	9.48E-05	1.05E-09	0.00
총 합	6.29E+00	6.93E-05	100.00	

1.19%, 75.31%, 1.34%로 운영단계의 운영에너지 과정에서의 지구온난화에 대한 영향이 지배적인 것으로 분석되었다.

4.1.2 자원소모 평가

자원소모에 대한 평가 결과는 Table 7과 같이 생산단계, 시공단계, 운영단계, 폐기단계에서 각각 2.75E+00 kg-Sb_{eq}/m², 2.39E-01 kg-Sb_{eq}/m², 1.21E+01 kg-Sb_{eq}/m², 2.64E-01 kg-Sb_{eq}/m²으로 분석되었으며. 이때의 각 단계별 기여도는 17.93%, 1.56%, 78.79%, 1.72%로 운영단계의 운영에너지 과정에서의 자원소모에 대한 영향이 큰 것으로 분석되었다.

4.1.3 오존층영향 평가

오존층영향에 대한 평가 결과는 Table 8과 같이 생산단계, 시공단계, 운영단계, 폐기단계에서 각각 4.60E-05 kg-CFC11_{eq}/m², 8.53E-06 kg-CFC11_{eq}/m², 1.95E-07 kg-CFC11_{eq}/m², 1.47E-05 kg-CFC11_{eq}/m²으로 분석되었으며. 이때의 각 단계별 기여도는 66.25%, 12.29%, 0.28%, 21.18%로 생산단계와 운영단계의 운영에너지 과정에서의 오존층영향에 대한 영향이 큰 것으로 분석되었다.

4.2 전과정 평가 결과 분석

대상 건축물의 전과정 평가 결과로 산출된 지구온난화, 자원소모 및 오존층영향에 대하여 전과정 단계별 환경영향 기여도를 구함으로써 각각의 환경영향에 어떠한 요소가 중점적으로 작용하는지 분석할 수 있다. 이러한 분석은 추후에 건축물의 환경부하를 감축하는 방법으로 해당 건축물에 투입된 자재 및 에너지를 개선할 수 있는 방향을 제

시하는 데에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 수행한 전과정 평가의 전과정 단계별 환경영향 기여도는 Fig. 1과 같이 도출된다.

본 연구에서 대상 건축물의 지구온난화 및 자원소모는 운영단계에서 대부분의 기여를 하고 있음을 알 수 있다. 이는 건축물의 운영단계에서 사용되는 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기부문의 에너지가 건축물의 수명 기간인 50년 동안 지속적으로 소비되는 데에서 기인한 것으로 분석된다.

반면, 오존층영향은 건축자재의 생산단계에서 유독 높게 나타난 것을 확인 할 수가 있으며, 이는 건축자재마다 주요 오존층영향 물질인 브롬화삼불화메탄(Halons 1301)을 보유하고 있는 데에서 기인한 결과로 분석 된다.

4.3 결과의 타당성 분석

본 연구에서 건축물의 수명이 50년으로 가정된 바, 이에 대한 타당성을 검토하기 위하여 2017년 기준의 건축물 평균수명 현황 통계자료⁶⁾를 토대로 데이터의 민감도 분석을 통하여 Table 9와 같은 결과를 도출하였다.

건축물의 수명은 운영단계에서의 환경영향 값에 많은 영향을 미치기 때문에 본 평가 대상 건축물의 경우 운영단계가 미치는 영향이 큰 지구온난화와 자원소모에서 건축물 수명에 따라 환경영향 값이 크게 차이가 나고, 운영단계의 영향이 적은 오존층영향에서는 건축물 수명에 따른 환경영향의 값의 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 이는 50년으로 가정된 건축물 전과정 평가지침에서의 건축물 수명의 한계를 보여주는 것으로, 더욱 타당한 건축물 수명 기간을 적용하기 위하여 추후 연구가 필요하다.

Table 9. 오존층영향 평가 결과

구분	건축물 수명 (년)		평가결과		환경영향 민감도 (A-B)/A
	본 평가	통계값 ⁶⁾	본 평가 (A)	통계값 활용 (B)	
지구온난화(kg-CO _{2eq} /m ²)	50년	28.33년	2.78E+03	1.88E+03	32.44%
자원소모(kg-Sb _{eq} /m ²)	50년	28.33년	1.53E+01	1.01E+01	33.91%
오존층영향(kg-CFC11 _{eq} /m ²)	50년	28.33년	6.94E-05	6.94E-05	0.03%

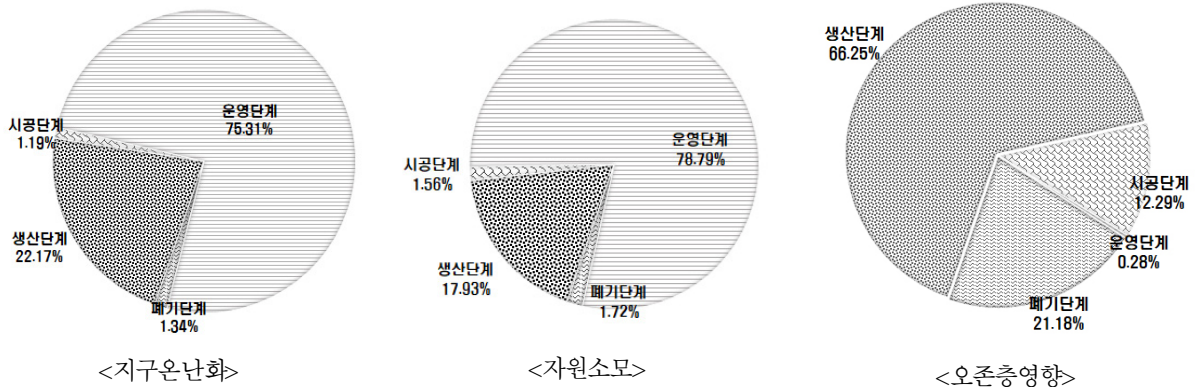


Fig. 1. 전과정 단계별 환경영향 기여도

5. 결론

본 연구에서는 국내 녹색건축인증 건축물의 환경영향을 분석하기 위하여 G-SEED 인증항목으로써의 전과정 평가를 수행하고, 산출된 환경영향 값을 토대로 전과정 단계별 환경영향 기여도를 분석하였다.

G-SEED 인증 건축물을 대상으로 선정하였으며, 실제 설계내역서 상의 건축자재 수량을 누적질량기여도 바탕으로 cut-off 99%를 수행한 결과 레미콘을 포함한 총 7개의 건축자재 그룹이 전과정 평가 대상으로 선정되었다.

선정된 평가 대상 건축자재들의 수량을 토대로 G-SEED 전과정 평가에서의 필수 환경영향범주인 지구온난화영향 외에 자원소모 및 오존층영향을 평가한 결과 각 환경영향에 대하여 전과정 단계별 기여도를 도출할 수 있었다. 각 환경영향에 대한 단계별 기여도를 분석한 결과 지구온난화와 자원소모는 운영단계의 운영에너지과정에서 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 오존층영향은 건축자재의 생산단계에서 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 G-SEED에서의 전과정 평가를 수행하는 방법을 통해 건축물의 환경부하량과 전과정 단계별 환경영향 기여도를 도출하고 분석하는 방법을 보여줬으며, 건축물 수명에 따른 환경영향 민감도 분석을 통하여 건축물 전과정 평가지침에서의 건축물 수명에 대한 추가 연구가 필요하다는 것을 밝혔다.

추후 이러한 과정을 통해 도출된 환경영향 결과를 활용

하여 대상 건축물에 투입된 자재 및 에너지를 개선할 수 있는 방향을 제시할 수 있도록 연구가 수행 될 필요가 있다. 이를 통하여 건축물의 설계 및 시공 단계에서 명확한 친환경 솔루션을 제공할 수 있게 되어 실질적인 건축물의 환경부하 저감을 이룩하는 데에 도움이 될 것으로 기대된다.

6. 감사의 글

이 논문은 미래창조과학부, 국토교통부의 재원으로 한국연구재단, 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2015R1A5A1037548, No.18CTAP-C143363-01).

REFERENCES

- 1) 조수현, 서성모, 채창우, 전과정평가를 고려한 녹색건축인증 개선에 관한 연구, 한국전과정평가학회, Vol. 17, No. 2, 2016, pp. 47-57.
- 2) G-SEED 홈페이지, <https://www.gbc.re.kr/index.do>
- 3) 임효진, 녹색건축인증제(G-SEED)내의 건축물 전과정 평가를 위한 주요 건축자재 분석에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교, 2018, 57 pages.
- 4) 녹색건축 인증기준 해설서, 2016v1.2, 2016.
- 5) 녹색건축 인증기준 해설서, 2016-2v1.0, 2016.
- 6) 건축물 생애이력 관리시스템, 17년 기준 용도별 멸실건축물 평균수명 현황, 2018, <http://www.blcm.go.kr/stat/customizedStatic/CustomizedStaticSupplyDetail.do>