

건축물 탄소배출량 산정을 위한 건축자재 환경영향 분석 연구

정우열¹, 이충원¹, 김성경¹, 태성호^{2*}

¹한양대학교 스마트시티공학과, ²한양대학교 건축학부

Study on Environmental Impact Analysis of Building Materials for Carbon Emission Assessment in Buildings

Woo Yeol Jung¹, Chung Won Lee¹, Seong Gyeong Kim¹, Sung Ho Tae^{2*}

¹Department of Smart City Engineering, Hanyang University, Korea

²Division of Architecture, Hanyang University, Korea

ABSTRACT

This study investigates embodied carbon emissions in the production stage of building materials and evaluates the applicability of low-carbon materials by quantifying emissions from major construction products. Based on environmental product declarations (EPDs) and life cycle inventory (LCI) database, emission factors for each material were derived and applied to a case building to analyze reduction potential and the carbon neutrality rate. The carbon neutrality rate is defined as the proportion of reduced emissions compared to the baseline, serving as a quantitative indicator of mitigation performance. Results show that materials such as precast concrete, foam insulation, and mortar exhibited lower emissions than the baseline, with the production stage contributing the most to total life cycle emissions. These findings highlight the importance of managing embodied carbon in early stages and provide a basis for establishing carbon reduction strategies in design and policy planning.

Key words: life cycle assessment of building, net-zero carbon building, EPD, carbon emissions of building materials

요 약

본 연구는 건축자재 생산단계의 내재탄소에 주목하고, 주요 자재의 탄소배출량을 정량화하여 저탄소 자재의 적용 가능성을 평가하였다. 환경성적표지(environmental product declaration, EPD)와 LCI DB(life cycle inventory database)를 기반으로 자재별 탄소배출계수를 도출하고, 사례 건축물에 적용하여 감축효과 및 탄소중립률을 분석하였다. 탄소중립률은 기준 배출량에서 감축된 탄소량의 비율로, 자재의 저감 성과를 나타내는 지표이다. 분석 결과, 일부 자재군은 기준 대비 탄소배출량이 낮았고, 생산단계의 배출기여도가 전과정 중 가장 높게 나타났다. 이는 생산단계의 내재탄소 관리가 저탄소 건축 실현에 중요함을 시사하며, 정책 및 설계 전략 수립에 활용될 수 있다.

주제어: 건축물 전과정평가, 탄소중립 건축물, 환경성적표지인증, 건축자재 탄소배출량

1. 서 론

1.1 연구의 배경

기후변화에 따른 전 지구적 기온 상승 문제는 전 세계적인

Date Received: Jul. 15, 2025, Date Revised: Aug. 25, 2025, Date Accepted: Aug. 29, 2025

* Corresponding author : Sung Ho Tae, Tel: +82-31-436-5187, E-mail: jnb55@hanyang.ac.kr

© Copyright 2025 The Korean Society for Life Cycle Assessment. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

공동 대응을 요구하는 주요 환경 이슈로 대두되고 있다. 이에 따라 국제사회는 《유엔기후변화협약(UNFCCC)》을 시작으로, 《교토의정서》, 《파리협정》 등 다양한 국제협약을 통해 온실가스 감축과 지속가능한 발전을 위한 제도적 기반을 마련해 왔다.

이러한 국제적 움직임에 발맞추어 주요 국가들은 자국의 사회·경제적 여건에 따라 탄소중립목표를 설정하고, 관련 정책을 수립하여 단계적으로 이행해 나가고 있다. 유럽연합(EU), 미국, 중국, 대한민국 등은 각국의 목표 연도를 설정하고, 에너지 전환, 산업구조 개편, 친환경 기술 도입 등 다양한 정책적 수단을 통해 사회 전반의 녹색 전환을 추진하고 있다.

우리나라 건설 부문은 전체 온실가스 배출량의 약 24.7%를 차지하는 고탄소 배출 부문으로서, 탄소중립 달성을 위한 우선적인 감축 분야로 인식되고 있다[1]. 건축물의 에너지 사용에 따른 운송단계의 배출뿐 아니라, 건축자재의 생산·가공·운송·시공 등 전과정에 걸쳐 상당한 환경부하가 발생하기 때문이다. 이 가운데 건축자재의 생산단계(A1~A3)는 건물 전과정 단계에서 발생하는 탄소배출량 중 가장 큰 비중을 차지하며, 이에 대한 정량적 평가 및 개선이 시급하다.

특히 시멘트, 철강 등 전통적인 건설자재는 높은 탄소집약도를 지니고 있으며, 해당 자재의 대체재로서 저탄소 건축자재 및 재활용 기반 건축자재의 적용은 건설산업의 탈탄소화를 실현할 수 있는 중요한 수단으로 부각되고 있다[2]. 저탄소 건축자재는 생산 공정에서의 에너지 효율 향상과 온실가스 배출 최소화를 통해, 건축물의 내재탄소(embodied carbon) 저감에 기여할 수 있으며, 이는 건물의 친환경 성능을 종합적으로 평가하는 국내 인증제도인 녹색건축 인증제도(Green Standard for Energy and Environmental Design, G-SEED)와의 정합성 확보에도 기여한다[3].

1.2 연구의 목적

본 연구는 건설 부문의 전과정평가(life cycle assessment, LCA) 기반 탄소저감 전략 수립에 있어 건축자재의 내재탄소 정량화 및 저탄소 건축자재 적용 효과 분석의 중요성을 인식하고, 다음과 같은 목적을 가지고 수행되었다.

첫 번째는 국가 LCI DB(Life Cycle Inventory Database)와 환경성적표지(environmental product declaration, EPD) 데이터를 기반으로 주요 건축자재의 탄소배출계수를 도출하여, 국내 건축자재 환경정보의 수준과 활용 가능성을 평가하고자 한다.

두 번째는 정량화된 자재별 탄소배출계수를 사례 건축물의 물량산정에 적용하여, 기존 자재와 저탄소 대체자재 간의 탄소배출량 차이 및 감축 효과를 분석한다. 이를 통해 저탄소 건축자재 적용 시 건축물의 탄소중립률 변화와 실질적 기여도를

평가할 수 있다[4].

세 번째는 분석 결과를 바탕으로 녹색건축 인증제도 및 탄소중립건축물 인증과의 정합성을 검토하고, 향후 전과정평가 기반 설계 및 자재 선택 기준 마련에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

이러한 일련의 과정을 통해, 본 연구는 저탄소 건축자재의 실질적 효과를 확인하고, 건축 분야의 탄소중립 실현을 위한 데이터 기반 정책 및 설계 전략 마련에 기여하는 것을 궁극적인 목적으로 한다.

2. 이 론

2.1 전과정평가

전과정평가는 제품 또는 시스템의 전과정에 걸친 환경영향을 정량적으로 평가하는 기법으로, 일반적으로 생산, 시공, 운영, 폐기 4단계로 구분된다. 건축물 전과정평가에서는 이를 보다 세분화하여 생산단계(A1-A3), 시공단계(A4-A5), 운영단계(B1-B7), 폐기단계(C1-C4)로 나누며, 각 단계는 Fig. 1과 같이 정형화된 모듈 구조를 따른다.

본 연구에서는 건축자재의 환경영향을 정량화하기 위해 생산단계(A1-A3)를 범위로 설정하였으며, 이는 원재료 채취, 운송, 제조까지의 탄소배출을 포함한다. 전과정 중에서도 이 단계는 자재별 내재탄소 배출량이 가장 큰 비중을 차지하는 핵심 영역이다[5].

2.2 EPD와 건축자재 DB

환경성적표지는 동일 제품군 내 환경영향 비교를 위한 공식 선언서로, ISO 14025에 따라 제품군규격(product category rules, PCR)을 기반으로 작성되며, 국내에서는 환경부와 한국환경산업기술원이 운영한다. 자재별 A1~A3 단계의 환경영향 지표(GWP 등)를 제공하며, 국토교통부와 환경부의 ‘건축자재 최대허용 탄소배출량 기준’과 함께 저탄소 자재 비교 기준으로 활용된다.

해당 DB는 녹색건축 인증제도, ZCB(zero carbon building) 등 건축물 인증의 정량평가에 적용되며, 설계단계 탄소저감 전략 수립에 활용된다. 다만, 국내 EPD는 국제 LCI DB에 비해 데이터 범위, 공종 다양성, 투명성 측면에서 한계가 있으며, 이는 국내 건축 분야 LCA 연구의 정밀성과 확장성을 저해하는 요소로 지적되고 있다. 향후 국제 DB와의 정합성 확보 및 제도 연계성 강화를 위한 개선이 요구된다[6].

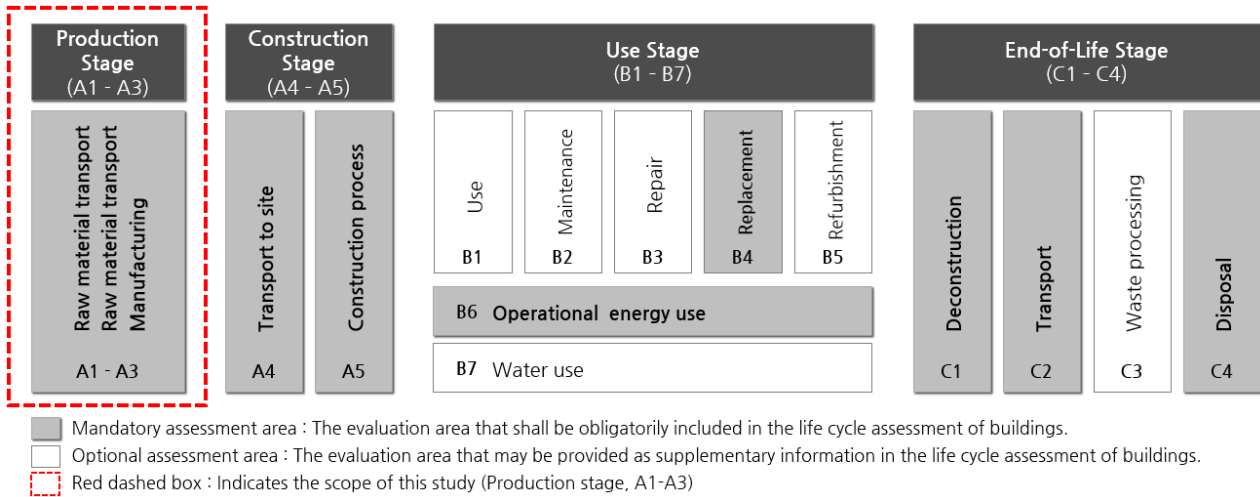


Fig. 1. System boundary of life cycle assessment for buildings.

3. 연구방법

3.1 EPD 인증 건축자재 분류

본 연구는 건축물의 생산단계(A1~A3) 내재탄소 산정을 위해, EPD 인증을 받은 건축자재 데이터를 기반으로 자재 분류 체계를 구축하였다. EPD는 제품의 전과정 환경영향을 ISO 14025 및 21930 기준에 따라 정량화한 공식 인증으로, 국내에서는 환경부와 한국환경산업기술원이 환경기술산업 원스톱 서비스(ECOSQUARE)를 통해 관련 데이터를 제공한다[7].

본 연구에서는 2024년 기준 2,535건의 EPD 인증 자재 중 건축물에 실제 적용 가능한 자재를 선별하고, 12개 주요 자재 군으로 대분류하였다. 각 자재군은 자재의 물리적 특성, 원재료, 생산 방식 등을 기준으로 약 53개의 소분류로 정리하였다. 예를 들어 레미콘은 강도 등급별로, 단열재는 원료별로 구분하였다.

이 분류 작업 Table 1은 설계도면 기반 물량 산출과 연계하여 수행되었으며, 자재별 탄소배출계수(kgCO₂ eq/ton)를 구축하는 데 활용되었다. 구축된 분류체계는 이후 내재탄소 산정, 저탄소 자재 적용 시나리오, 기준값 비교 등 연구 전반의 기초 자료로 사용된다.

3.2 분석 대상 자재군 선정 및 정제

EPD 인증 건축자재 중 본 연구의 사례 건축물에 실제 적용 가능한 자재를 선별하여 분석 대상 자재군을 정제하였다. 건축물에서 사용 빈도가 높고 내재탄소에 미치는 영향이 큰 자재를 중심으로 12개 주요 자재군을 선정하였으며, 총 1,835건의

Table 1. Validity status of environmental performance label certified products

Category	Subcategory	Number of certified products
Ready-mixed concrete	10	1,173
Concrete materials	7	37
Bricks	4	19
Steel	7	278
Cement	3	31
Windows	1	12
Gypsum board	2	23
Insulation	6	85
Stone	1	6
Flooring	5	97
Tile	4	27
Wallpaper	3	42
Total	53	1,835

EPD 인증 유효 데이터를 최종 분석 대상으로 확정하였다.

선정된 자재군에는 대분류와 맞게 레미콘, 철근, 콘크리트블록, 단열재, 석고보드, 벽돌 등 구조 및 마감 주요 부재가 포함되며, 자재별로 평균값, 최소값, 최대값을 기준으로 배출량 특성을 정리하였다. 또한, 각 자재군을 대상으로 제품들의 탄소배출계수를 비교했을 때, 배출량이 적은 25%에 포함되는 제품

Table 2. Status of unit emission factors for EPD-certified building materials (2025.07.31.)

Material	Grade	Minimum	Maximum	Average	Unit
Ready-mixed concrete	18MPa	1.65E+02	2.61E+02	2.11E+02	kgCO ₂ eq/m ³
	21MPa	1.32E+02	3.17E+02	2.18E+02	kgCO ₂ eq/m ³
	24MPa	1.30E+02	3.74E+02	2.42E+02	kgCO ₂ eq/m ³
	27MPa	1.93E+02	3.78E+02	2.66E+02	kgCO ₂ eq/m ³
Brick	EM ECO brick	8.66E-02	8.73E-02	8.69E-02	kgCO ₂ eq/kg
	Foamed concrete block	2.08E+02	2.81E+02	2.34E+02	kgCO ₂ eq/m ³
	ALC block	2.05E+02	2.05E+02	2.05E+02	kgCO ₂ eq/m ³
Steel	Steel plate	2.28E+00	3.55E+03	1.35E+03	kgCO ₂ eq/kg
	Steel section	5.14E-01	2.56E+03	4.77E+02	kgCO ₂ eq/kg
	Rebar	4.32E+02	3.53E+03	1.61E+03	kgCO ₂ eq/ton
	Steel pipe	2.89E+00	2.67E+03	1.29E+03	kgCO ₂ eq/ton
	Other metal materials	2.23E+00	6.87E+01	2.27E+01	kgCO ₂ eq/kg

들을 저탄소 제품으로 선정할 수 있도록 별도로 분류하였다.

이와 같이 별도로 구분된 자재군은 이후 건축물 단위 내재 탄소 총량 산정 및 저탄소 대체 시나리오 분석의 기초자료로 활용되며, ZCB 및 G-SEED 등 인증체계와의 비교 평가에도 연계될 수 있도록 구성하였다.

3.3 탄소배출계수 DB 구축

분석 대상 자재군이 확정된 이후, 각 자재에 대해 탄소배출 계수(kgCO₂eq/ton)를 도출하기 위한 DB를 구축하였다. 본 연구에서는 2025년 7월 31일 기준 환경부 환경기술산업 원스톱 서비스(ECOSQUARE)에 등록된 1,835건의 유효 EPD 인증서 데이터를 기반으로, 12개 대분류 및 53개 소분류 자재의 온실가스 배출계수를 정리하였다.

자재군 내에서는 제조사별, 모델별 편차가 존재하므로 최소값, 평균값, 최대값을 병기하였으며, 소분류 기준을 그대로 유지하여 배출계수의 정량적 특성을 반영하였다. 또한, 탄소배출 계수 적용을 위해 자재 물량(부피, 면적 등)을 중량 단위로 변환하는 단위환산계수를 활용하였다.

최종 도출된 자재별 배출계수는 Table 2에 제시하였으며, 이를 통해 자재 간 배출량 차이 및 저탄소 대체 가능성을 평가할 수 있다.

3.4 최대허용탄소배출량 기준 DB 구축

건축자재의 환경 성능을 정량적으로 비교·평가하기 위해,

국토교통부와 환경부가 2025년 7월 31일 고시한 제4차 「건축 자재 최대허용 탄소배출량 기준」을 기반으로 기준값 DB를 구축하였다.

이 기준은 자재군별 단위 질량당 허용 가능한 최대 온실가스 배출량을 제시하여 설계 단계에서의 탄소총량 관리와 저탄소 자재 판별 기준으로 활용된다.

본 연구에서는 기준이 설정된 8개 주요 자재군을 대상으로 용도·성능별 72건의 기준값을 정리하였으며, 해당 데이터는 앞서 구축한 EPD 탄소배출계수 DB와 연계되어 실제 배출계수와 기준값 간 비교 평가에 활용된다.

여기서 ‘Major Category’는 자재 대분류를, ‘Type’은 고시 내 자재군 구분 번호를 의미하며, 예를 들어 Type 6은 금속재, Type 17은 단열재, Type 19는 시멘트·타일류에 해당한다. 주요 기준값 항목은 Table 3에 제시하였으며, 이를 통해 건축자재 간 탄소배출 허용 수준과 대체 가능성을 효과적으로 검토할 수 있다.

4. 건축자재별 분석

4.1 건축자재별 탄소배출량 분석

EPD 인증 자재를 대상으로 자재군별 단위 탄소배출량(kgCO₂eq/ton)을 분석한 결과, 레미콘, 철강, 단열재의 평균 배출량이 가장 높은 수준을 나타냈다. 이는 해당 자재군의 생산 공정이 고에너지·고원료 집약적이기 때문이다[8].

Table 3. Maximum allowable carbon emission standards by building material (2024.10.)

NO	Major category	Subcategory	Detailed classification	Unit	Max.(CO ₂ eq) emissions
1	Type 6	Metal building/civil material	Building metal column	kgCO ₂ eq/ton	1,775.56
7	Type 6	Metal building/civil material	Deck plate	kgCO ₂ eq/m ²	46.35
42	Type 17	Insulation	EPS	kgCO ₂ eq/kg	2.19
45	Type 17	Insulation	XPS	kgCO ₂ eq/kg	12,919.37
92	Type 19	Tile	Non-metallic tile	kgCO ₂ eq/m ²	4.47
108	Type 19	Cement	Ready-mixed concrete (18MPa) [Capital region]	kgCO ₂ eq/m ³	206.16

레미콘은 Fig. 2와 같이 압축강도에 따라 단위 배출량의 편차가 확인되었으며, 강도가 높을수록 평균 탄소배출량이 증가하는 경향을 보였다. 철강류는 형강 및 강관류가 일반 철근류보다 탄소배출량이 높았다. 형강과 강관은 철근보다 생산 과정에서 추가적인 제조 공정과 에너지 투입이 필요하기 때문이다[9].

단열재는 무기계보다 발포계의 배출량이 높았으며, 일부 제품은 동일 용도 대비 평균값의 2배 이상 차이를 보였다. 이는 제조 방식과 모델에 따라 동일 자재군 내에서도 배출 특성이 달라질 수 있음을 시사한다.

이러한 정량적 특성은 건축물 생산단계의 탄소배출량에 크게 기여하는 자재군을 파악하고, 저탄소 자재군 선정 및 사례 평가의 기준이 되며, 다음 장에서는 이를 바탕으로 실제 건축

물 적용 시나리오와 탄소 저감 효과를 정량적으로 분석한다.

5. 건축물 내재탄소 성능 사례평가

5.1 사례평가 개요

본 연구의 사례평가는 경기 안산시 선부동 제3구역 주택재건축 정비사업의 단지 내 공동주택을 대상으로 수행하였다. 대상 건축물은 지상 29층, 지하 2층 규모의 철근콘크리트 벽식 구조로 계획되었으며, 주요 용도는 공동주택 및 부대복리시설이다.

분석 모델은 실제 설계도서와 건축내역서를 기반으로 설정하여, 물량 산출 및 자재 투입 정보를 반영하였다. 평가 범위는 생산단계(A1~A3)로 한정하였으며, 투입 자재 중 총 질량 기준 99%를 반영하는 컷오프(Cut-off) 기준을 적용하였다.

이를 통해 구조재, 마감재, 단열재 등 주요 13개 자재군을 선정하였다. 각 자재의 투입량은 건축내역서를 통해 산출하였고, 배출량 산정에는 환경부 국가 LCI DB와 환경성적표지(EPD) 인증 DB를 활용하여 자재별 탄소배출계수(kgCO₂eq/ton)를 적용하였다. 비교 기준으로는 국토교통부와 환경부가 2025년 7월 31일 고시한 자재별 최대허용 탄소배출량을 적용하였다. 기준값은 각 자재의 투입량에 최대허용탄소배출량을 곱한 후, 건축물 단위면적(kgCO₂eq/m²)으로 환산하여 산정하였다.

이를 통해 실제 배출량과 기준값 간의 정량적 비교가 가능하도록 구성하였다. Table 4에는 평가에 포함된 자재군과 주요 물량 정보가 정리되어 있으며, Table 5에는 자재별 기준값과 실제 산정된 배출량의 비교 결과가 제시되어 있다.

이러한 사례 건축물의 기초 분석을 토대로, 다음 절에서는 국가 LCI DB와 EPD DB를 활용한 전과정 비교 분석을 수행

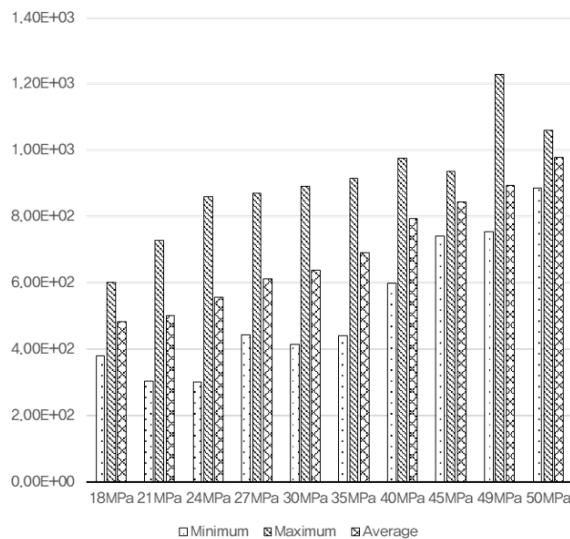


Fig. 2. Comparison of carbon emissions of ready-mixed concrete by compressive strength.

Table 4. Case evaluation analysis target

Category	Quantity	Unit	Ratio (%)	Cumulative contribution (%)	Remark
Ready-mixed concrete	298,270.30	ton	83.69	83.69	Included
Cement	26,366.81	ton	7.40	91.08	Included
Rebar	12,189.66	ton	3.42	94.50	Included
Bricks	11,726.89	ton	3.29	97.79	
Stone	1,563.45	ton	0.44	98.23	Included
Gypsum board	1,501.03	ton	0.42	98.65	Included
Aggregate	1,341.29	ton	0.38	99.03	
Tile	1,260.30	ton	0.35	99.38	Included
Glass	836.30	ton	0.23	99.62	
Insulation	594.46	ton	0.17	99.79	Included
Paint	322.70	ton	0.09	99.88	
Wood	253.11	ton	0.07	99.95	
Other metal materials	13.67	ton	0.00	99.95	
Structural steel	-	ton	0.00	99.95	
Other materials	175.64	ton	0.05	100.00	Included
Total	356,415.61	ton			

Table 5. Results of calculating carbon emissions for analysis (kgCO₂eq)

Category	Minimum	Maximum	Average	Reference value
Ready-mixed concrete (18MPa)	1.56E+06	2.41E+06	1.96E+06	1.95E+06
Ready-mixed concrete (24MPa)	1.10E+07	3.17E+07	2.05E+07	2.07E+07
Ready-mixed concrete (27MPa)	2.34E+06	4.59E+06	3.23E+06	2.96E+06
Ready-mixed concrete (30MPa)	3.84E+06	7.73E+06	5.48E+06	5.57E+06
Reinforcing bar	5.23E+06	4.27E+07	1.95E+07	-
EPS	6.17E+02	1.25E+03	9.74E+02	-
XPS	9.60E+01	1.18E+02	1.06E+02	-
Gypsum board	6.16E+02	2.98E+03	1.51E+03	4.98E+01
Cement	4.85E+04	1.49E+06	8.63E+05	-
Morar	4.80E+03	1.72E+05	8.60E+04	-
Engineered stone	6.23E+04	9.51E+05	5.44E+05	-
Vinyl wallpaper	1.26E+05	2.25E+05	1.46E+05	-
Ceramic tile	3.38E+05	7.82E+05	5.64E+05	-

하였다.

5.2 EPD 인증 건축자재 비교 분석 및 결과

전과정평가를 기반으로 건축물의 생산, 시공, 운영, 폐기 단계별 탄소배출량을 산정하고, EPD 기준 최대·최소·평균·기준값의 기여도를 비교하였다. 비교의 일관성을 위해 대상 건축물의 단위면적(1m²)을 기능단위로 설정하여, 규모 차이에 따른 영향을 배제하고 시나리오 간 성능을 직접 비교하였다.

Table 6은 단위면적당 탄소배출량(kgCO₂eq/m²)을 기준으

로 국가 LCI DB와 EPD 평가결과를 비교한 값이며, Fig. 3은 이를 시각화한 것이다. 분석 결과, 생산단계의 배출량이 전체의 가장 큰 비중을 차지했으며, 특히 EPD 최대값 기준으로는 전체 탄소배출량의 약 55.27%를 차지하였다.

생산단계 배출량은 국가 LCI DB 대비 EPD 최대값 적용 시 21.33% 증가, 최소값은 67.84% 감소, 평균값은 30.89% 감소, 기준값은 59.25% 감소하였으며, 전과정 기준으로는 각각 6.92% 증가, 18.87% 감소, 15.72% 감소, 20.75% 감소하였다.

이러한 차이는 탄소중립률로 정의되며, 이는 국가 LCI DB

Table 6. Results of comparative analysis of certification materials

Life cycle stage	Process	Greenhouse gas emissions per unit floor area (kgCO ₂ eq/m ²)				
		National LCI DB	EPD maximum	EPD minimum	EPD average	Max(CO ₂ eq) emissions
Production	Production	5.50E+02	6.67E+02	1.77E+02	3.80E+02	2.24E+02
Construction	Transport	1.89E+01	1.89E+01	1.89E+01	1.89E+01	1.89E+01
	Construction	5.89E+00	5.89E+00	5.89E+00	5.89E+00	5.89E+00
Use	Energy use	8.59E+02	8.59E+02	8.59E+02	8.59E+02	8.59E+02
	Repair	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
End-of-life	Demolition	2.51E+00	2.51E+00	2.51E+00	2.51E+00	2.51E+00
	Transport	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02
	Disposal	6.29E-01	6.29E-01	6.29E-01	6.29E-01	6.29E-01
Total		1.44E+03	1.55E+03	1.14E+03	1.19E+03	1.11E+03

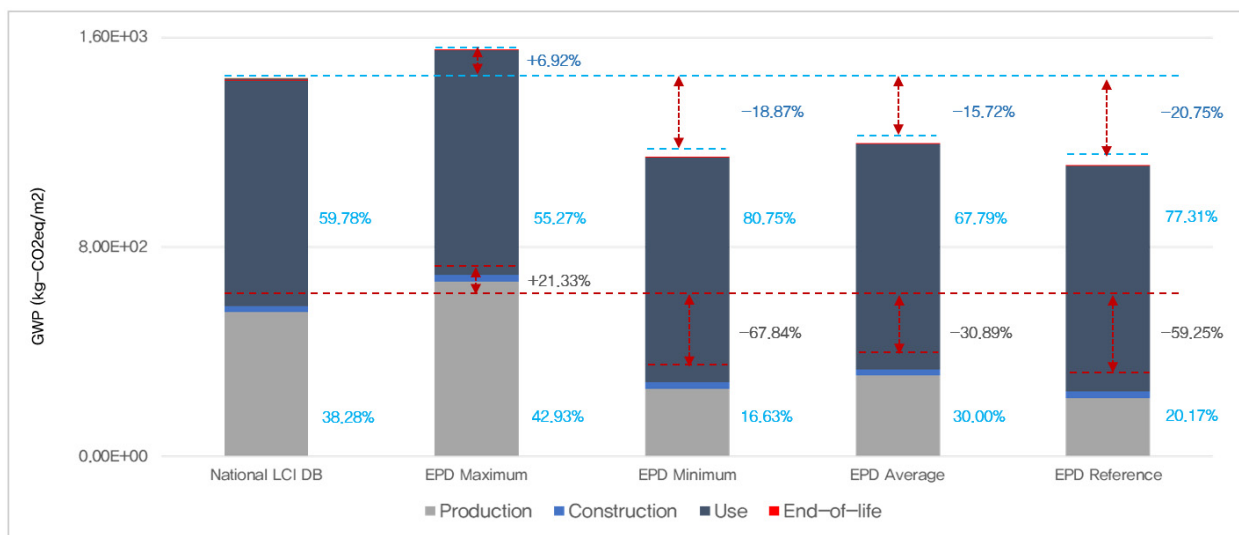


Fig. 3. Comparison of life cycle carbon emissions according to EPD certification standards.

기준 배출량 대비 EPD 적용으로 감축된 배출량의 비율로 계산된다. 관련 계산식은 아래 식에 제시하였다[4].

$$_{A1-A3}CNR(\%) = \frac{\sum (CE_{LCIDB} - CE_{EPDDB})}{CE_{LCIDB}} \times 100$$

$_{A1-A3}CNR$: Carbon neutrality rate (%)

$_{A1-A3}CE_{LCI\ DB}$: Carbon emissions based on National LCI DB (kgCO₂ eq/m²)

$_{A1-A3}CE_{EPD\ DB}$: Carbon emissions based on EPD DB (kgCO₂ eq/m²)

6. 결 론

첫째, 2024년 8월 기준 EPD 인증 정보를 활용하여 12개 자재군, 53개 세부 항목의 데이터베이스를 구축하였으며, 이를 통해 자재별 최소·최대·평균 배출량 비교가 가능하였다.

둘째, 프리캐스트 콘크리트, EM ECO 벽돌, 모르타르, 발포 폴리스티렌 단열재 등은 동일 용도 내 평균값 대비 낮은 배출계수를 보여 저탄소 대체 자재로서의 활용 가능성을 확인하였다.

셋째, 생산단계 탄소중립률은 EPD 기준 최대값 21.33%, 최소값 67.84%, 평균값 30.89%, 기준값 59.25%로 나타났으며, 전과정 기준으로는 각각 6.92%, 18.87%, 15.72%, 20.75%로 산정되었다. 이는 적용하는 데이터베이스(DB)와 시나리오에 따라 감축 효과가 크게 달라질 수 있음을 보여준다. 특히 생산단계의 편차가 전과정 배출량에도 직접적으로 반영되므로, 저탄소 자재의 효과를 객관적으로 평가하기 위해서는 다양한 시나리오 검토와 표준화된 기준 마련이 필수적이다.

넷째, 국가 LCI DB는 보수적 기준을 반영해 EPD 기반보다 상대적으로 높은 배출량을 산정하였으며, EPD는 실제 제조 공정 특성을 반영한다는 점에서 개별 제품 성능 검증에 유용하다. 다만, 두 DB의 시스템 경계가 완전히 일치하지 않았을 가능성이 있어, 향후 연구에서는 일관된 경계 설정과 데이터 정합성 검토가 요구된다.

사 사

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2021R1A2C2095630). 이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00217322).

References

1. Construction Economy Research Institute of Korea (CERIK). Prospects and challenges of green building market in the carbon neutral era. Construction Issue Focus No. 2023-10, pp. 1-29 (2023).
2. Jeong, S.W., Sohn, K.I., Lee, K.K., Lim, N.K. A study on the improvement plans of certification system for environmental-friendly building materials. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction 24(4), pp. 125-132 (2008).
3. Kim, K.H. A study on the improvement of environmental product declaration guideline and low carbonization of ready mixed concrete. Master's Thesis, Inha University, Korea (2023).
4. Wang, S.J. A study on carbon neutral building certification system based on building life cycle assessment. Ph.D. Dissertation, Hanyang University, Korea (2023).
5. Kim, H.S. Proposal of a methodology for evaluating the life cycle assessment using the standard quantity of building materials based on probabilistic analysis techniques. Master's Thesis, Hanyang University, Korea (2022).
6. Kim, H.S., Lee, D.E., Park, H.I. Investigation on the development status of international life cycle inventory (LCI) database (DB) and suggestion of direction for national LCI DB development. Korean Journal of Life Cycle Assessment 18(1), pp. 57-69 (2017).
7. Korea Environmental Industry & Technology Institute. Maximum allowable carbon emissions criteria for building materials (4th announcement, 2024). <https://ecosq.or.kr/websquare.do#w2xPath=/ui/eve/ev/oz/EVOZ130M02.xml&bbsSn=13692> (accessed 08 August 2025).
8. Lim, H.J. A study on the analysis of major building materials in support of the life cycle assessment of G-SEED. Master's Thesis, Hanyang University, Korea (2018).
9. Suer J, Traverso M, Jäger N. Review of life cycle assessments for steel and environmental analysis of future steel production scenarios. Sustainability 14(21), p. 14131 (2022).