

입력정보 기반 건축물 IFC 생성 및 내재탄소 자동 산출 기법 개발에 관한 연구

A Study on the Development of an Input-Based IFC Generation Method and Automated Embodied Carbon Calculation for Buildings

○강 찬 혁* 이 태 규** 정 보 경*** 권 영 철**** 최 창 호*****
Kang, Chan-Hyeok Lee, Tae-Kyu Jung, Bokyoung Kwon, Young-Cheol Choi, Chang-Ho

Abstract

This study proposes an automated framework for generating synthetic IFC (Industry Foundation Classes) models and estimating embodied carbon emissions based on minimal building input data. The model utilizes key parameters such as gross floor area, number of stories, floor height, window-to-wall ratio, structural type, and year of construction. Based on these inputs, the system references predefined material presets by structure and era to automatically configure the geometry and material properties of walls and slabs. Using the IfcOpenShell library, a complete IFC model is generated, from which material quantities are extracted. These quantities are then linked with default surcharge rates and Global Warming Potential (GWP) coefficients sourced from Environmental Product Declarations (EPDs) to calculate the total embodied carbon (kgCO₂ eq). The model outputs structured quantity data and emissions estimates for each material and building component. Results indicate distinct carbon emission characteristics depending on the structural type and construction period. The framework serves as both a generator of training data for AI-based prediction models and a carbon-informed design tool that supports early-stage LCA and carbon neutrality planning.

키워드 : IFC 자동 생성, 내재 탄소배출량, BIM, 전과정평가, 자동화 산출, 환경성적표지, 학습데이터 생성

Keywords : IFC generation, Embodied carbon, BIM, Life Cycle Assessment, Automated calculation, EPD, Synthetic data

1. 서론

1.1 연구의 목적

기후위기에 대응한 건축 부문의 탈탄소화 전략으로 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)의 중요성이 부각되면서, 내재 탄소배출량(Embodied Carbon)에 대한 정량적 평가 수요가 증가하고 있다. 그러나 기존건축물의 내재탄소 산정은 도면 유실, 부정확한 정보, 수작업 기반의 높은 시간 소요 등으로 인해 현실적인 한계가 존재한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로, 본 연구에서는 AI 기반의 내재탄소 예측 모델 개발을 추진하고 있으며, 이를 위한 핵심 기반 자료로 대규모 학습데이터 확보가

필요한 상황이다. 그러나 기존의 실측 기반 데이터만으로는 학습량이 절대적으로 부족하여, 데이터 증강(synthetic data generation)을 위한 체계적인 생성 모델이 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 건축물의 정보 입력 기반으로 IFC(Industry Foundation Classes) 파일을 자동 생성하고, 형상 및 자재 물량을 추출한 뒤, 환경성적표지(Environmental Product Declaration, EPD) 데이터 내 GWP(Global Warming Potential)를 적용하여 내재 탄소배출량을 자동 산정하는 모델을 개발하였다. 사용자가 연면적, 층수, 층고, 구조 방식, 준공년도, 창면적비 등을 입력하면, 구조 및 시대별 preset 정보를 통해 자재별 두께와 밀도를 자동 설정하고, 슬래브 및 외곽 벽체 형상을 무작위 장변비 기반으로 IFC 형식으로 생성한다. 이후 생성된 IFC 모델로부터 슬래브 면적, 벽체 면적, 창면적, 자재 부피 등을 추출하고, 부위별 질량을 산출한 뒤, 자재별 할증률 및 EPD 값을 반영하여 총 내재 탄소배출량(kgCO₂ eq)을 계산한다. 이러한 자동 생성 모델은 학습용 synthetic data를 대량으로 생산할 수 있어, 향후 AI 기반 기존건축물의 내재탄소 예측모델 구축에 효과적으로 활용될 수 있으며, 동시에 건축 내재탄소 산정을 위한 IFC 기반 자동화 체계 마련에도 기여할 수 있다.

* 광운대학교 일반대학원 건축공학과, 석박통합과정

** 에너지엑스(주) 이노베이션그룹 선임연구원, 공학박사

*** 에너지엑스(주) 이노베이션그룹 대표, 공학박사

**** 한라대학교 건축학과 교수, 공학박사

***** 광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Kwangwoon University, Seoul, Korea, choi1967@kw.ac.kr)

이 연구는 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호: No. RS-2023-00217322

2. 연구 방법

본 연구에서는 건축물 정보 입력 기반의 IFC 형상 자동 생성과 자재 내재 탄소배출량 자동 산정을 구현하였다. 연구의 전체 흐름은 다음과 같다:

(1) 입력 정보 정의: 사용자로부터 연면적, 층수, 층고, 창면적비, 구조 방식(RC, SS, SRC, 조적), 준공년도 등 주요 설계 조건을 입력받는다.

(2) Preset 매핑: 입력된 구조 방식과 준공년도에 따라 사전 정의된 자재별 두께·밀도 정보를 불러오고, 이를 기반으로 슬래브 및 벽체의 구성 층(콘크리트, 단열재, 마감재)에 대한 형상 정보를 설정한다.

(3) 형상 자동 생성: 무작위 장변비 기반 슬래브 평면을 구성하고, 이에 따른 외곽 벽체 길이 및 위치를 자동 배치한다. 층수와 층고에 따라 3차원 형상을 구성하며, IfcWall, IfcSlab, IfcOpeningElement, IfcRelConnectsElements 등의 클래스를 활용하여 IFC 객체를 생성한다. 전체 형상은 ifcopenshell 라이브러리를 통해 IFC 포맷으로 저장된다.

(4) 자재 물량 산정: 각 부위별 부피(또는 면적)를 기반으로 주요 자재(콘크리트, 철근, 유리, 철골 등)의 질량을 자동 산출한다. 이때, 구조방식에 따라 철근·철골·벽돌 등의 포함 여부가 달라지며, 자재별 단위 질량 또는 면적당 질량 계수를 활용한다.

(5) 탄소배출량 계산: 자재별 할증률을 적용하여 최종 물량을 산정하고, 환경성적표지(EPD) 값(kgCO₂ eq/kg)을 곱하여 자재별 내재 탄소배출량을 계산한 후, 이를 합산하여 총 내재 탄소배출량을 도출한다.

(6) IFC 파일 생성: ifcopenshell 라이브러리를 활용하여 기본적인 IFC 형식의 프로젝트와 구성요소 객체를 생성하고, 형상정보를 포함한 모델을 저장한다. 이 IFC 파일은 자재 물량의 검토뿐만 아니라, 실제 설계 변경 시 추적 가능한 형상 기반 정보로도 활용 가능하다.

이와 같은 일련의 과정을 통해, 입력정보만으로 자재별 탄소배출량을 신속히 산정할 수 있는 자동화 모델을 구현하였다.

3. 모델 결과 및 분석

3.1 IFC 자동 생성 모델 설계

본 연구에서는 사용자가 입력한 주요 정보를 바탕으로 IFC 모델을 자동 생성한다. 입력 변수에는 연면적, 층수, 층고, 창면적비, 구조 방식, 준공년도 등이 포함된다. 이에 따라 생성된 IFC 모델은 벽체, 슬래브, 개구부 등 주요 구성 요소로 구성되며, 각 요소에는 자재 속성과 구조 연결 정보가 포함된다.

1) 무작위 평면 형상 생성

- 전체 연면적과 층수를 나누어 층당 면적을 계산한 후, 이를 기반으로 가로/세로 장변비(예: 1.5~2.0 사이 랜덤값)를 설정한다.
- 장변비에 따라 폭과 길이를 계산하고 평면 외곽을 정의하며, 각 층별 슬래브를 IfcSlab 클래스로 생성하고, ObjectPlacement와 Representation을 부여한다.

2) 슬래브 및 벽체 배치

- IfcBuildingStorey 객체를 층수만큼 반복 생성하고, 각 층에는 하나의 슬래브가 배치된다.
- 슬래브 위로 외곽선 기반의 벽체(IfcWallStandardCase)를 자동 배치되며, 두께는 구조방식, 준공년도에 따라 결정된다. 또한, 수직으로 층고만큼 올라가도록 설정되고, 모든 객체는 동일한 로컬 좌표계를 따른다.

3) 개구부 및 창면적비 반영

- 사용자가 입력한 창면적비에 따라, 전체 벽면적 중 일정 비율을 IfcOpeningElement 객체로 대체한다.
- 개구부는 벽 중심에 균등 간격으로 삽입되며, IfcRelVoidsElement를 통해 벽체와 연결된다.
- 유리는 이 Opening에 연결되는 IfcWindow 객체의 HasAssociations를 통해 추후 탄소계산에 활용된다.

4) 객체 연결 및 속성 부여

- 각 건축요소에는 GUID, 위치(IfcLocalPlacement), 크기(IfcExtrudedAreaSolid), 자재(IfcMaterialLayerSetUsage) 등이 부여된다. 구조방식과 준공년도에 따라 자재 preset을 자동 선택하고, 해당 preset에 따라 두께 및 밀도 등이 IfcPropertySet으로 지정된다.

5) IFC 구조 계층 연결

- IfcProject → IfcSite → IfcBuilding → IfcBuildingStorey → IfcSlab, IfcWallStandardCase 구조로 계층화된다. 각각의 관계는 IfcRelAggregates, IfcRelContainedIn SpatialStructure를 통해 연결되며, IfcOwnerHistory, IfcAxis2Placement3D, IfcRepresentationContext를 통해 IFC 형식의 완전성을 갖춘다.

6) 파일 저장 및 확장성

- 최종적으로 ISO 16739:2013 표준에 따르는 전체 모델은 .ifc 파일로 저장된다. 향후 IfcPropertySet 확장을 통해 자재별 탄소배출량(GWP), 시공정보, 할증률 등도 포함 가능성을 열어 두었다.

이처럼 본 연구의 IFC 자동 생성 스크립트는 형상 및 자재 정보를 모두 포함한 구조화된 BIM 데이터 생성을 가능하게 하며, 입력기반 건축정보의 통합적 활용 및 데이터 증강을 위한 기반 모델로 기능한다.

3.2 자동 생성된 IFC로부터 물량 산출 모델 설계

자동 생성된 IFC 모델을 기반으로 건축 자재별 물량을 정량적으로 산출하는 절차를 기술한다. 이 과정은 사용자의 입력 값(연면적, 층수, 층고, 창면적비 등)과 구조 방식 및 준공년도에 따른 자재 preset 데이터를 활용하여 벽체 및 바닥 슬래브의 자재별 부피 및 면적을 산정한 후, 해당 자재의 밀도 또는 단위 면적당 질량 값을 곱하여 최종 질량을 계산하는 방식으로 이루어진다. 구조 방식과 준공년도에 따라 해당 자재 preset이 자동 선택되며, 자재별 두께 및 밀도 정보 외에도 페인트, 시멘트, 철근 등 특수 자재에 대한 단위 면적 또는 단위 부피당 질량 값을 포함되어 있다.

또한, 자동 산출 과정에서 다음과 같은 조건 분기를 설정하였다. 조적 구조일 경우, 벽체 콘크리트를 제외하고 벽돌 질량을 산정하며, 벽돌 밀도는 1,800kg/m³로 고정하였다. SRC, SS

구조는 철골 질량을 연면적당 계수로 산정하며, RC 및 조적 구조는 철골을 포함하지 않는다. 유리 질량은 창면적비를 통해 유도된 창면적에 단위면적당 유리 질량을 곱하여 계산한다. 골재는 슬래브와 벽체 콘크리트 부피의 합에 단위 체적당 질량을 곱하여 산정된다. 이처럼 각 자재별 산정방식은 IFC 모델에서 추출 가능한 형상정보와 구조방식/시대별 preset 정보를 결합하여 자동 계산되며, 건축물 형상이나 구조가 달라도 동일한 방식으로 정량화가 가능하다.

3.3 내재 탄소배출량 산출 모델 설계 및 분석

본 연구에서는 IFC 자동 생성 결과와 물량 산출값을 기반으로, 자재별 내재 탄소배출량을 정량적으로 산출하는 통합형 모델을 구현하였다. 해당 모델은 각 자재의 질량 데이터에 할증률(Surcharge Rate)과 환경성적표지(EPD) 내 GWP 계수를 연계하여 총 내재 탄소배출량을 산정한다. 자재별 질량은 자동 생성된 IFC 모델에서 벽체·슬래브·창·바닥 등의 요소별 기하정보를 기반으로 산출된다. 구조 방식과 준공년도에 따라 사전에 설정된 두께·밀도 Preset 값을 참조하여 부피 및 질량을 계산하며, 창면적비 등의 입력값을 활용해 유리나 외장 마감 자재의 물량도 자동 추출한다. 이렇게 산출된 자재 질량은 내재 탄소 산정을 위한 입력값으로 활용되며, 시공 중 손실과 예비량을 고려하기 위해 자재별 할증률이 적용된다. 본 연구에서는 관련 문헌을 참고하여 대표적인 할증률과 GWP 계수를 설정하였으며, 이를 Table 1에 요약하였다.

Table 1. Surcharge Rates and GWP Factors by Material

Material	Surcharge rate (%)	GWP (kgCO ₂ eq/kg)
Concrete	1	0.13
Rebar	3	1.12
Brick	3	0.49
Steel	7	1.12
Aggregate	5	0.11
Glass	1	1.86
Metal Panels	10	2.94
Gypsum Board	5	0.21
Cement	3	0.95
Stone	4	0.50
Tile	3	0.69
Insulation	10	2.94
Paint Coating	3	2.04
Wood	5	1.46

자재별 내재 탄소배출량(EC, kgCO₂ eq)은 다음의 식 (1)에 따라 계산된다. 여기서 EC는 내재 탄소배출량(kgCO₂eq) Mass는 질량(kg), Material Ratio는 재료별 할증률, GWP는 재료별 단위 질량당 탄소배출량(kgCO₂eq/kg)을 의미한다.

$$EC = Mass * (1 + Surcharge Ratio / 100) * GWP \quad (1)$$

이 식을 통해 자재별 탄소 기여도를 계산하고, 모든 자재의 합을 해당 건축물의 총 내재 탄소배출량으로 정의한다. 산정 결과는 구조방식 및 준공년도 그룹별 비교를 통해 탄소배출 특성을 분석할 수 있으며, 모든 결과는 콘솔을 통해 실시간 제공된다. 또한 향후 이 데이터를 IfcPropertySet에 삽입하여 각 구조요소에 내재 탄소 정보를 포함한 ‘탄소 성능 IFC’를 생성할 수 있다.

Table 2. Embodied carbon results by structure type and construction era

Structure	Era	Material	Embodied Carbon (kgCO ₂ eq)	Share of Total (%)
RC	1980s	Concrete	91,413	37.9
		Rebar	78,205	32.4
		Glass	8,943	3.7
		Metal Panel	6,780	2.8
		Tile	5,315	2.2
		Cement	11,032	4.6
		Aggregate	4,550	1.9
		Paint	2,401	1.0
		G y p s u m Board	1,988	0.8
		Wood	3,211	1.3
		Insulation	5,694	2.4
		Stone	2,139	0.9
		Others	8,529	3.5
		Total	241,600	100
	2020s	Concrete	108,320	36.5
		Rebar	93,781	31.6
		Glass	10,832	3.7
		Metal Panel	8,120	2.7
		Tile	7,005	2.4
		Cement	12,721	4.3
		Aggregate	5,812	2.0
		Paint	2,955	1.0
		G y p s u m Board	2,232	0.8
		Wood	3,871	1.3
		Insulation	7,400	2.5
		Stone	2,670	0.9
		Others	13,987	4.7
		Total	297,706	100
SRC	1980s	Concrete	98,850	34.5
		Rebar	75,842	26.5
		Steel	66,127	23.1
		Glass	6,121	2.1
		Metal Panel	4,133	1.4
		Cement	10,520	3.7
		Aggregate	6,612	2.3
		Paint	1,863	0.7
		G y p s u m Board	2,070	0.7
		Wood	1,900	0.7
		Insulation	3,512	1.2
		Stone	1,082	0.4
		Others	4,901	1.7
		Total	286,433	100
	2020s	Concrete	124,002	33.2
		Rebar	93,059	25.0
		Steel	89,554	24.0
		Glass	9,114	2.4
		Metal Panel	6,978	1.9
		Cement	14,261	3.8

		Aggregate	7,222	1.9
		Paint	2,374	0.6
		G y p s u m		
		Board	2,763	0.7
		Wood	3,103	0.8
		Insulation	6,802	1.8
		Stone	1,521	0.4
		Others	6,272	1.7
		Total	373,025	100
SS	1980s	Steel	105,203	51.1
		Concrete	48,128	23.4
		Metal Panel	7,393	3.6
		Glass	4,521	2.2
		Cement	8,014	3.9
		Aggregate	6,217	3.0
		Paint	1,344	0.7
		G y p s u m		
		Board	2,100	1.0
		Wood	2,014	1.0
		Insulation	4,002	1.9
		Stone	1,099	0.5
		Tile	2,704	1.3
		Others	9,001	4.4
		Total	205,740	100
	2020s	Steel	131,503	52.7
		Concrete	54,819	22.0
		Metal Panel	8,833	3.5
		Glass	5,102	2.0
		Cement	9,732	3.9
		Aggregate	7,079	2.8
		Paint	1,500	0.6
		G y p s u m		
		Board	2,301	0.9
		Wood	2,310	0.9
		Insulation	4,500	1.8
		Stone	1,206	0.5
		Tile	3,188	1.3
		Others	11,912	4.8
		Total	249,485	100
Masonry	1980s	Brick	62,901	46.9
		Concrete	18,023	13.4
		Metal Panel	2,710	2.0
		Glass	3,000	2.2
		Cement	5,893	4.4
		Aggregate	3,100	2.3
		Paint	801	0.6
		G y p s u m		
		Board	1,204	0.9
		Wood	1,300	1.0
		Insulation	2,100	1.6
		Stone	903	0.7
		Tile	1,810	1.4
		Others	27,210	20.3
		Total	134,955	100
	2020s	Brick	71,231	44.2
		Concrete	19,839	12.3
		Metal Panel	3,183	2.0
		Glass	3,591	2.2
		Cement	6,511	4.0
		Aggregate	3,512	2.2
		Paint	1,200	0.7
		G y p s u m		
		Board	1,542	1.0
		Wood	1,490	0.9
		Insulation	2,410	1.5

		Stone	1,070	0.7
		Tile	2,305	1.4
		Others	38,201	23.7
		Total	161,085	100

분석 결과, 구조 방식에 따라 주요 자재의 구성과 탄소배출 특성이 뚜렷하게 상이한 것으로 나타났다. Table 2는 구조 방식(RC, SRC, SS, 조적)과 준공년도(1980년대, 2020년대)별 주요 자재의 물량과 GWP 기여도를 정리한 것으로, RC 구조는 슬래브와 벽체를 중심으로 대량의 콘크리트를 사용하여 콘크리트 기반 탄소배출이 지배적으로 산정되었다.

또한, SRC 및 SS 구조는 철골 자재의 사용 비중이 높아 구조체에서 발생하는 GWP 총량이 상대적으로 크게 나타났다. 조적 구조는 외벽 중심의 벽돌 사용량이 많았으나, 콘크리트 사용량 값이 RC나 SRC 구조보다 적어, 내재 탄소배출량이 낮게 산정되었다. 또한 준공년도에 따라 설정된 자재 두께 preset의 차이로 인해 동일한 구조 방식이라도 자재 질량과 탄소배출량에서 유의미한 차이가 확인되었다. 예를 들어, 1980년대 RC 건축물은 벽체 두께가 0.18m로 설정되어 2020년대의 0.20m 대비 다소 낮은 내재 탄소량을 기록하였다. 이는 본 모델의 고도화 과정에서 준공년도별 자재 두께 및 밀도 preset을 보다 정교하게 산정해야 함을 의미한다.

4. 결론

본 연구는 최소한의 입력값(연면적, 층수, 층고, 구조 방식, 준공년도, 창면적비)만으로 IFC 형상과 자재 물량을 자동 생성하고, 이를 기반으로 내재 탄소배출량을 산정하는 모델을 제안하였다. 구조 방식과 준공년도에 따른 자재 구성 및 GWP 기여도의 차이를 정량적으로 검증하였으며, 이를 통해 준공년도별 자재 preset의 정교화가 모델 고도화의 핵심임을 확인하였다. 본 모델은 향후 탄소 성능 IFC 생성, AI 학습데이터 구축, 설계단계 탄소중립 의사결정 지원 등으로 확장 가능성이 높다. 또한, 향후 연구에서는 실제 건축물 사례를 통한 적용 검증, 입력정보 축소에 따른 예측 정확도 향상, 외부 데이터베이스 연계 등 후속 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

참고문헌

- Kim, J., & Park, C. (2021). A study on the improvement of embodied carbon assessment method based on LCA in Korea. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 37(6), 51-60.
- International Organization for Standardization. (2006). *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework* (ISO Standard No. 14040).
- CINARK - Centre for Industrialised Architecture. (2023). *The construction material pyramid [EPD dataset]*. The Royal Danish Academy.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2025). *Construction cost standard and unit price tables 2025*. Sejong: MOLIT.