

건축물 전과정 CO₂ 평가를 위한 BIM 라이브러리 개발

The Development of BIM Library for Building Life Cycle CO₂ Assessment

이 병 호 | Lee, Byeong-ho

정회원, 한양대학교 친환경건축연구센터 연구교수

홍 성 욱 | Hong, Soung-wook

정회원, 한양대학교 건축환경공학과 석사과정

신 성 우 | Shin, Sung-woo

정회원, 한양대학교 건축학부 교수

Abstracts

BIM and its quantity take-off widely apply to the construction projects and LCCO₂ Assessment using the BIM's quantity take-off function can be tried recently. Because BIM modeling programs such as Revit and ArchiCAD do not provide adequate library for LCCO₂ Assessment, quantity take-off data should be conversed and applied to Carbon Emission Coefficient using Excel program or manual work.

Therefore, the purpose of this research is 1) to propose the Unit Conversion Systems for Carbon Emission Coefficient, 2) to provide basic library sets for BIM based LCCO₂ Assessment method, and 3) to apply 11 material library sets on a apartment unit plan modeling to pursue the CO₂ emission evaluation of the material production in the process of LCCO₂ Assessment.

Research results showed CO₂ emission amount of 458.64kgCO₂/m² from the apartment unit plan modeling.

Keywords

BIM Library, Quantity Take-off, Life Cycle CO₂ Assessment, Carbon Emission Coefficient, Unit Conversion System

키워드

BIM 라이브러리, 수량산출, 전과정 CO₂ 평가, 탄소배출계수, 단위환산체계

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

산업혁명이후 대규모적이며 급격한 화석연료의 사용으로 인한 온실가스배출로 해수면 상승, 지구온난화 등 환경문제가 날로 심각해지고 있다. 이에 대한 국제적 인식과 온난화 방지를 위한 각종 노력이 건축물에서의 이산화탄소 배출절감의 필요성과 제도적인 규제 로 가시화되면서 전과정 CO₂(Life Cycle CO₂, LCCO₂) 배출량 평가에 대한 연구와 평가기법들이 제시되고 있다.¹⁾

건축물 전과정이 건축 자재생산과 운송을 포함하는 시공단계, 건축물 수명기간내 사용되는 운용단계, 건축물 철거부터 폐기물 수송까지 포함하는 해체 및 재활용 단계로 크게 구별될 수 있으며 각 단계별 이산화탄소 배출량에 대한 정량적 분석이 LCCO₂ 평가의 핵심적 내용이 되고 있다. 특히, 건축 자재생산과 운송, 운용단계에서의 수선 및 교체, 폐기물 자재 운송 등에서 배출되는 CO₂ 는 투입자재량을 기준으로 산정되며 종래의 기법에서는 수작업에 의한 수량산출서 및 설계내역서를 기준으로 산출되고 있다.²⁾

최근 들어 BIM기법의 도입으로 BIM 데이터에 의한 수량산출이 활발해지고 있고 이러한 수량산출기능을 활용하여 LCCO₂ 평가를 시도하고 있으나 Revit 또는 ArchiCAD와 같은 모델링 프로그램은 효과적인 LCCO₂ 평가를 위한 BIM 라이브러리를 제공하고 있지 않기에 생성된 수량산출 데이터를 다시 수작업 또는 엑셀 등의 프로그램을 사용하여 CO₂ 배출원단위를 자재수량데이터에 환산, 적용시켜야 하는 어려움이 있다. 특히, 상업적인 5D기반 BIM 내역산출 프로그램을 사용할 경우, LCCO₂ 평가에 대한 인식이 부족하여 투입자재량 산출을 위한 라이브러리 작성이 미흡한 채 모든 과정이 진행되면 자재별 수량산출내역은 종전의 방식에 의해서 다시 CO₂ 배출원단위체계로 전환해야 하는 불편함과 오류가능성이 많아진다.

따라서 본 연구는 BIM 라이브러리 속성정보를 바탕으로 BIM기반 건축물 LCCO₂ 평가를 효율적으로 수행하기 위한 탄소배출계수 환산체계를 제안하고 이

1) 노승준외 6인, '목적지향형 건축물 전과정 CO₂ 평가 프로그램(LOCAS) 개발', 대한건축학회 논문집, 제28권 1호, 2012.01, pp101-108

2) 국토해양부, '시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인-건축물', 2011.08

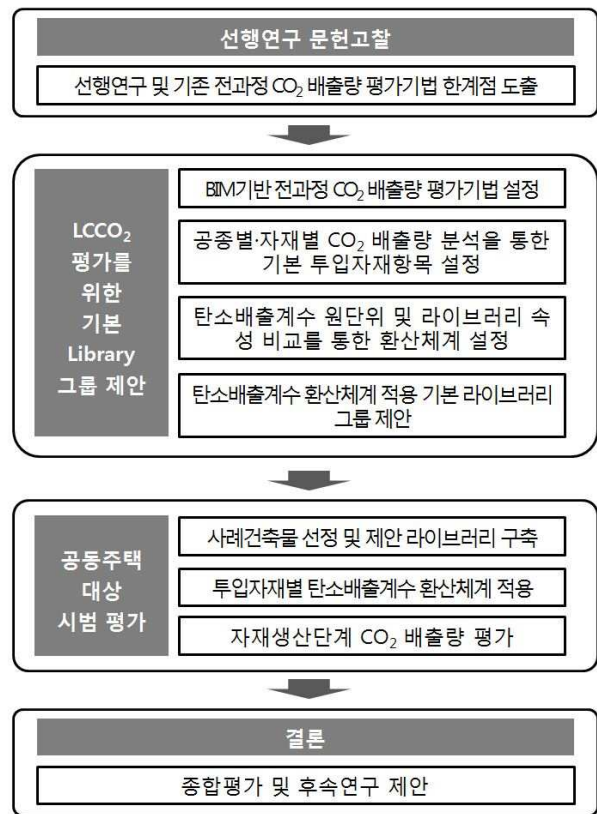


그림 1. 연구흐름도

를 적용한 LCCO₂ 평가용 라이브러리 개발과 시범평가를 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법

본 연구에서는 건축물 LCCO₂ 평가를 위한 BIM 라이브러리 개발을 위해 그림 1의 연구흐름도에서와 같이 건축물 LCCO₂ 평가기법에 대한 선행연구의 문헌적 고찰을 통해 선행연구와 기존 평가기법에 대한 한계점을 도출하고 BIM 수량산출기능을 활용한 LCCO₂ 평가기법을 설정한다.

또한 효율적인 LCCO₂ 평가를 위해 건축물 공사에 대한 공종별·자재별 배출량을 분석하여 기본 투입자재항목을 설정한다. 설정된 기본 투입자재에 대해 탄소배출계수 원단위와 라이브러리 속성정보를 비교하여 탄소배출계수 환산체계를 설정한다. 이를 바탕으로 하여 탄소배출계수 환산체계가 적용된 기본 라이브러리 그룹을 제안한다.

위의 연구결과를 토대로 공동주택 1개동에 대한 시범적용을 실시하여 자재생산단계에 대한 CO₂ 배출량 평가를 실시하고 이에 대한 종합평가와 함께 BIM기반 건축물 LCCO₂ 평가기법을 지속적으로 발전시키기

위한 후속연구를 제안한다.

1.3 연구의 범위

본 연구는 BIM기반 LCCO₂ 평가기법을 완성하기 위한 기초적 단계로서 BIM의 수량산출기능을 활용하여 건축물 LCCO₂ 평가 중 투입자재량과 직접적으로 관계되는 항목을 중심으로 연구를 진행하였다. 또한 LCCO₂ 평가기법을 위한 라이브러리 개발에 그 목표가 있으므로 실시단계 수준보다 계획단계 수준의 상세수준(Level Of Detail)을 대상으로 연구범위를 한정하였다.

또한 시범평가대상은 공동주택 1개동을 기준으로 계획단계 수준의 기본 투입자재항목을 선정하고 제안된 탄소배출계수 환산체계 그룹을 적용하여 필요한 라이브러리를 구축하였다. 구축된 라이브러리를 사용하여 자재생산단계에 한정하여 CO₂ 배출량 평가결과를 도출하였다. 이는 본 연구의 목적이 BIM 라이브러리의 속성정보를 활용하여 BIM 모델링 프로그램의 단순 수량산출기능이 탄소배출계수 환산체계로 적용될 수 있도록 하는 라이브러리의 제안에 있으므로 건설장비의 사용과 전력, 가스 등 유틸리티의 사용, 해체 및 재활용 단계에 따른 CO₂ 배출량 평가 및 LCCO₂ 배출량 전체평가결과는 제외하였다.

BIM 모델링 도구는 Revit Architecture를 사용하였고 KBIMS ver.1.0에서 제공된 패밀리를 기준으로 LCCO₂ 평가를 위한 라이브러리를 작성하였다.

2. 선행연구고찰

2.1 건축물 전과정 CO₂ 평가

전과정 평가는 제품의 시스템 전과정에서 관련 투입물과 산출물에 대한 목록을 작성하고 이들과 연관된 잠재적인 환경 영향을 평가하며 연구목적과 관련해서 목록분석 결과와 영향평가 결과를 해석함으로써 제품과 관련된 환경적 측면과 잠재적인 환경영향을 평가하기 위한 기법으로서 ISO 14000 시리즈에 기술적 근간을 두고 있다.³⁾

건축물에서의 전과정은 일반적으로 계획 및 설계 단계, 시공 단계, 운용 단계, 해체 및 재활용 단계로 구별되며 계획 및 설계 단계에서는 수량산출서 및 설계내역서를 통해 투입자재에 대한 목록과 수량을 결정하는 단계로 환경 영향은 발생하지 않지만 시공, 운

용, 해체 및 재활용 단계에서의 CO₂ 배출량 예상치를 산정하여 사전 평가하는 단계이다.

따라서 계획 및 설계 단계를 제외한 각 단계별 CO₂ 배출량 평가는 국토해양부 제정, '시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인 (2011)' 에 따라 아래와 같이 산출된다.

(1) 시공 단계

시공 단계는 건축물의 착공에서 준공에 이르는 기간으로 CO₂ 배출량 평가는 투입자재량에 탄소배출계수 DB, 장비사용에 따른 에너지 소비량에 IPCC 가이드라인 배출계수 또는 한국전력거래소 배출계수를 곱한 각각의 배출량 합산으로 산정한다. 여기서 탄소배출계수 DB는 '국가 LCI 데이터베이스 정보망', '탄소성적표지용 배출계수', '국토해양부 정보망 DB'를 이용하거나 학술적으로 검증된 배출계수를 사용하기도 한다.

(2) 운용 단계

운용 단계는 건축물이 준공되어 사용되는 단계로 CO₂ 배출량 평가는 건축물의 냉, 난방, 조명, 환기 등 건축물 유틸리티를 위해 전력 및 가스 등 에너지가 소비된 양에 탄소배출계수를 곱한 것의 합과 유지보수 공사에 한 해 시공단계와 동일한 기준으로 산출하여 합산한다.

(3) 해체 및 재활용 단계

해체 및 재활용 단계는 건축물의 내구연한이 다하여 철거하기위해 구조물을 해체하고 해체된 자재를 소각, 매립, 또는 재활용하는 단계로 해체 작업은 시공단계에 준하여 산출하고 폐기물 수송에 필요한 에너지 소비에 따른 CO₂ 배출량에 대해 추가적으로 합산한다.

2.2 건축물 전과정 CO₂ 평가 프로그램 비교분석

계획 및 설계단계에서 건축물 LCCO₂ 배출량은 시공에서 해체 및 폐기단계의 각 단계별 투입자재량과 장비사용, 유틸리티 및 폐기물 운송에 따른 에너지 소비량 추정을 기준으로 적절한 탄소배출계수를 적용하여 산출, 합산하는 방식으로 평가된다. 이 중 유틸리티를 위한 에너지 소비량⁴⁾을 제외한 장비사용과 폐기물 운송에 따른 에너지 소비량은 투입자재의 종류와

4) 유틸리티를 위한 에너지 소비량은 건축물 에너지 시뮬레이션 결과를 적용하거나 유사한 건물의 소비량의 통계적 수치를 적용하여 산출한다.

3) 노승준외 6인, 전계서, p.102

해당 공중에 따라 선정된 일위대가(철거 일위대가 포함)와 폐기물 운송수량과 관련되므로 투입자재수량이 건축물 LCCO₂ 배출량 평가 시 매우 중요한 부분이 된다.

따라서 국내외 대부분의 건축물 LCCO₂ 평가 프로그램은 다음 표 1과 같이 각 단계별 평가를 위해 투입자재량과 이에 비례되는 에너지 사용량 데이터 입력이 요구되고 있다. 각각의 평가프로그램 개요와 입력데이터를 비교분석하면 아래와 같다.

(1) SUSB-LCA

한양대학교 친환경건축연구센터가 개발한 SUSB-LCA는 자재생산과 유틸리티사용 부분에 대해 투입자재량과 에너지 사용량을 직접 입력하는 방식이나 기타 부분에 대해서는 통계데이터를 입력하는 간접 추계방식이다.⁵⁾

(2) K-LCA

건설기술연구원이 개발한 K-LCA는 자재생산과 유틸리티사용 부분에 대해 투입자재량과 에너지 사용량을 직접 입력하는 방식으로, 운송 및 장비사용, 해체 및 폐기단계는 SUSB-LCA와 유사하게 간접 추계방식을 적용하고 있으나 유지보수공사부분은 자재 수선율과 수선주기를 적용하는 방식이다.

(3) ECO-PIA

삼성건설이 개발한 ECO-PIA는 K-LCA와 유사한 하나, 유틸리티사용부분에서 직접 입력방식과 간접 추계방식을 모두 적용할 수 있다.

(4) BASIX

호주 NSW Government가 개발한 BASIX는 웹기반 프로그램으로 자재생산부분에 대해 직접입력하고 일부 간접 추계방식을 적용하고 있으나 기타 부분의 평가가 누락되었거나 체크리스트 방식을 적용하고 있어 상세한 분석이 불가능하다.

(5) GEM-21P

일본 시미즈건설이 개발한 GEM-21P는 모든 데이터를 간접 추계방식으로 입력하는 프로그램이나 유틸리티사용에 대해 자체적인 에너지 시뮬레이션 결과를 직접 입력할 수 있으며 유지보수공사부분에 대해 자재 수선율과 수선주기를 적용하여 산출하고 있다.

5) 태성호 외 3인, '공동주택의 전 생애주기 이산화탄소(LCCO₂) 간이평가 기법에 관한 연구', 대한건축학회 논문집, 제26권 8호, pp.37-44

표 1. 국내외 건축물 LCCO₂ 평가 프로그램 입력방식 비교

| 프로그램명 | 시공 단계 | | | 운용 단계 | | 해체 및 폐기 단계 |
|----------|-------|----|-------|---------|----------|------------|
| | 자재 생산 | 운송 | 장비 사용 | 유틸리티 사용 | 유지 보수 공사 | |
| SUSB-LCA | D | I | I | D | I | I |
| K-LCA | D | I | I | D | R | I |
| ECO-PIA | D | I | I | D/I | R | I |
| BASIX | D | - | - | C | I | I |
| GEM-21P | I | I | I | I/D | I/R | I |

주1. 본 표는 백정훈 외 4인, '건축물 계획단계 LCCO₂ 평가시스템의 필요요소에 관한 연구'(2011.05)에서 발췌, 재구성하였음.

주2. D: 직접 입력방식, I: 간접입력방식, R: 자재 수선율과 수선주기 적용방식, C: 체크리스트방식

2.3 BIM기반 전과정 CO₂ 평가연구

2.2 절에서 분석한 바와 같이 투입자재량의 산출이 건축물 LCCO₂ 평가의 핵심적인 부분이고 이를 BIM 모델링 프로그램이 기본적으로 제공하는 수량산출기능을 활용하여 적용하고자 하는 선행연구들이 수행되었다.

여영호와 이병호(2010)는 분당 고층 공동주택에 대해 ArchiCAD를 사용한 모델링으로부터 레미콘, 시멘트벽돌, 타일, 발포성 폴리스티렌, 석고보드, PVC창문, 판유리 등의 자재에 대한 수량산출결과를 도출하고 각 자재별 단위환산을 통한 탄소배출계수를 적용하여 자재생산부분의 CO₂ 배출량을 산정하였다. 또한 BIM 기반 에너지 시뮬레이션을 실시하여 유틸리티사용부분에 대한 CO₂ 배출량을 산정하고 기타 부분에 대해서는 간접 추계방식을 적용하여 BIM기반 전과정 CO₂ 평가를 수행하였다.⁶⁾

하지만 이 연구에서 기본적인 수량산출기능만을 사용하였기 때문에 일차적인 수량산출결과를 다시 탄소배출계수 원단위와 일치시키는 작업이 수작업으로 수행되었으며 각 자재별 분류 및 탄소배출계수 적용과정에 일반 자재명을 사용하는 불편이 있었다.

금원석과 태성호(2012)는 건축자재 품목코드를 DB를 구축하고 자재 라이브러리에 부여하여 효율적인 자재관리와 함께 전과정 CO₂ 평가를 수행하였다. 하지만 이 연구에서 제안된 품목코드가 공중, 자재, 규격을 모두 하나의 코드로 관리하며 국가 표준 코드체계로 자리잡고 있는 조달청 표준공사코드 체계와 호

6) 여영호, 이병호, '2.1 친환경 거주성 및 최적 공간설계', "친환경건축 기술과 경제성", 2010, pp.41-65

표 2. 건축물 전과정 CO₂ 평가기법과 BIM 적용가능성

| 단계 | 세부부분 | CO ₂ 배출량 산정 | BIM 적용가능성 |
|-------------|-------|--|--|
| 시공 단계 | 자재생산 | 투입자재량(unit) × 자재의 DB(tCO ₂ /unit) (탄소배출계수) | 투입자재량을 BIM 모델링에서 수량산출 가능 |
| | 장비사용 | 장비사용에 따른 에너지 사용량(unit) × 순발열량(kcal/unit) × 탄소배출계수(tC/kcal) × 산화율 × 44/12(tCO ₂ /tC) | BIM으로 산출된 투입자재량에 공종별 일위대가, 품셈등 적용하여 에너지 사용량 산출가능하나 공종별 세밀한 분석이 요구됨 |
| 운용 단계 | 에너지 | 전력, 도시가스 등 유틸리티 사용에 따른 에너지 사용량(unit) × 순발열량(kcal/unit) × 탄소배출계수(tC/kcal) × 산화율 × 44/12(tCO ₂ /tC) | BIM기반 에너지 시뮬레이션 결과 이용가능 |
| | 상수도 | 상수도사용량(m ³) × 탄소배출계수(kgCO ₂ /m ³) | BIM 모델링 용도별 바닥면적 산출합계에 상수도사용량 원단위 적용 가능 |
| 해체 및 재활용 단계 | 해체공사 | 시공단계의 장비사용에 준하여 산정 | 폐기물량을 BIM 모델링에서 수량산출 가능 |
| | 폐기물운송 | 운송회수(회) × 수송거리(km) × 연비(km/L) | BIM 모델링에서 수량산출된 폐기물량을 덤프트럭 등 일반적인 운송수단으로 환산, 운송회수 산출가능 |

환되지 않아 사용상 불편이 예상된다.⁷⁾

따라서 본 연구는 조달청 표준공사코드 체계를 바탕으로 투입자재관리를 위한 순수자원코드⁸⁾와 BIM 수량산출시 탄소배출계수 원단위와 일치되는 기준단위 환산체계를 자재 라이브러리 속성정보에 추가하여 수작업 없이 투입자재량에 따른 CO₂ 배출량 평가가 가능한 라이브러리를 개발하고자 한다.

3. 전과정 CO₂ 평가를 위한 라이브러리 제안

3.1 건축물 전과정 CO₂ 평가기법과 BIM 적용가능성

2.1 절에서 설명된 국토해양부 제정, ‘시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인 (2011)’에서 제안된 단계별 CO₂ 배출량 산정법에 BIM 적용가능성을 요약하면 위의 표 2와 같다. 운용단계의 에너지 소비량을 제외하고 BIM 모델링에서 수량산출기능 및 바닥면적 산출기능을 활용하여 대부분 산출이 가능한 것으로 분석되었다. 하지만 시공단계의 자재생산부분 평가의 기준이 되는 투입자재량은 일반적인 BIM 수량산출방법에

서 단위체계가 체적(m³)과 면적(m²)만을 기준으로 산출되고 있으나 적용되어야 할 자재DB의 탄소배출계수는 투입자재의 종류와 품셈, 일위대가 등의 구성에 따라 중량(kg, ton), 수량(개) 등 자재생산과정에서의 CO₂ 배출량 평가분석을 위해 환산된 단위체계를 포함하고 있으며 창호와 같은 경우 단일 자재량이 아닌, 유리와 창틀, 창문틀 등으로 구별되어 산출되어야 각각의 자재DB 탄소배출계수를 적용시킬 수 있다.⁹⁾

따라서 자재DB 탄소배출계수를 용이하게 적용시키기 위해서는 비중, 품셈 등의 정보를 활용하여 탄소배출계수 단위체계로 직접 전환되어 수량산출 되는 자재 라이브러리 체계구축과 함께 투입자재량 데이터가 건축물 전과정에 걸쳐 사용되므로 표준적인 관리코드의 도입이 필요하다.

3.2 기본 투입자재항목 선정

건축물 LCCO₂ 배출량 평가 시 실시설계가 완료되어 최종 자재 수량산출이 확보된 경우 평가가 용이하나 BIM모델링 초기단계인 계획설계 수준에서는 평가가 어렵다. 따라서 계획설계 수준에서도 어느 정도의 평가가 가능하기 위해서는 건축자재 중 CO₂ 배출량이 많은 자재와 함께 계획설계 수준의 상세수준(Level Of Detail)에 적합한 자재들을 우선적으로 선정하여 기본 투입자재항목으로 선정하고 이에 대한 라이브러리를 구축하는 것이 바람직하다.

9) 국토해양부, 전거서, 부록 국가 LCI DB 이용 탄소배출계수

7) 금원석, 태성호, ‘건축자재 품목코드를 이용한 BIM모델링의 전과정 CO₂ 평가방안에 관한 연구’, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 제32권 1호, 2012.04, pp.137-138

8) 조달청 기존 자재관리코드와 국토해양부에서 제시된 수량산출기준을 바탕으로 내역서의 전산관리를 위해 개발된 표준공사코드는 공종분류를 위한 공종분류코드, 세부공종코드와 자재분류를 위한 물품분류코드와 순수자원코드로 구별된다. 이 중 순수자원코드는 물품분류코드를 규격별로 세부적으로 분류한 코드로 자재와 노무, 건설기계, 일반경비항목 등으로 구성된다.

우지환 외 1인의 연구(2010)에 따르면 초고층 공동주택의 경우 철근, 레미콘, 알루미늄제품, 합판, 콘크리트 제품, 산업용 플라스틱 제품, 도료의 순으로 배출량이 많으며 이 들 상위 7개 자재의 자재생산부분 CO₂ 배출량이 건축공사 배출량의 86.26%를 차지하는 것으로 분석되었다.¹⁰⁾ 하지만 BIM 모델링의 경우 철근과 거푸집의 합판 등은 직접 모델링을 통해 수량산출을 하는 것보다 실시설계 단계에서 배근도를 이용한 5D기반 전용 프로그램 등을 통해 산출되는 것이 바람직하기 때문에 계획설계 수준의 상세수준을 고려하여 레미콘, 철근, 형강, 콘크리트 블록, 벽돌, 타일, 발포성 폴리스티렌, 석고보드, PVC, 금속, 판유리, 철문, 시멘트, 모래 등 14개 자재를 기본 투입자재항목으로 선정하였다. 철근의 수량산출은 계획설계 수준에서 모델링보다 철근비를 적용하여 산출하는 것으로 하였다.

3.3 탄소배출계수 환산체계 및 기본 라이브러리 구성 설정

아래 그림 2에서와 같이 선정된 기본 투입자재 항목에 대해 BIM 수량산출기능으로 제공되는 단위체계와 각각의 투입자재에 대한 국가 LCI 자재DB등 탄소배출계수 단위를 비교하여 환산체계를 설정하였다. 투

입자재의 탄소배출계수 환산체계는 단순 적용과 변환, 일위대가 및 품셈 등 자재구성의 특징에 따라 단위환산을 위해 적절한 수식이 포함된 경우로 구별하고 G1~G4로 명명된 기본 라이브러리 그룹을 제안하였다.¹¹⁾ 각 그룹별 환산체계의 특징은 다음 표 3과 같다.

최종적인 라이브러리 작성은 이를 관리하기 위한 조달청 표준공사코드인 순수자원코드를 환산체계와 함께 라이브러리 속성정보에 할당하였다.

표 3. 탄소배출계수 환산체계에 따른 기본 라이브러리 그룹

| | |
|----|---|
| G1 | 단순환산자재 그룹 |
| | BIM 수량산출 시 추가적인 환산 없이 탄소배출계수 단위 적용가능 |
| G2 | 변환환산자재 그룹 |
| | BIM 수량산출 후 비중 또는 체적당 수량계수 등을 통해 1차 변환되어 탄소배출계수 단위 적용가능 |
| G3 | 분리환산자재 그룹 |
| | 벽돌과 몰탈처럼 타 자재의 량이 포함되어 계산되는 량을 1차 산출한 다음 전체 수량에서 공제 후 탄소배출계수 단위 적용가능 |
| G4 | 복합환산자재 그룹 |
| | 창문처럼 여러 종류의 자재가 복합되어 하나의 자재를 구성한 경우, 각 자재별 산출식을 통해 수량 산출 후 탄소배출계수 단위 적용가능 |



그림 2 . 탄소배출계수 환산체계 및 기본 라이브러리 구성 설정

10) 우지환, 신성우, '표준공동주택의 주요 건설자재 설정을 통한 공동주택 환경부하 평가 기술개발에 관한 연구', 한국생태환경건축학회 논문집, 제10권 1호, 2010.02, pp.85-90

11) 기본 투입자재 항목이외의 자재에 대해서도 분석하였고 일반적인 건축자재는 거의 제안된 라이브러리 그룹에 속한다고 판단되었다.

4. 공동주택대상 시범평가

4.1 사례 건축물 선정 및 환산체계 그룹적용

본 연구에서는 국내의 일반적인 공동주택을 대상으로 시범평가를 수행하였다. 탄소배출계수 환산체계설정에 따른 라이브러리를 이용하여 건물에 투입된 자재에 대한 CO₂ 배출량 평가를 위해 계획단계 수준의 BIM 모델링을 하였다. 구축된 라이브러리를 BIM 기본수량산출기능인 일람표에 적용하여 제안된 라이브러리 체계의 효율성을 제시하였다. BIM 모델링 프로그램은 Autodesk사의 Revit Architecture를 이용하였다.

(1) 사례 건축물 선정

투입자재의 탄소배출량 평가를 위한 적용사례로서 그림 3과 같이 분당 고층 공동주택단지의 한 개동의 기준층을 선정 하였다. 기준층의 구성은 2세대 1코어 구성이며 세대 당 전용면적은 162.87m², 기준층 전용면적소계는 325.74m²이다.

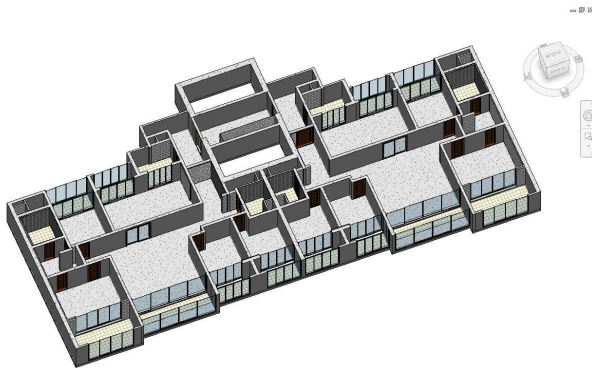


그림 3. 분당 공동주택 기준층 BIM 모델

(2) 투입자재별 탄소배출계수 환산체계 그룹적용

앞에서 제시된 14개의 기본 투입자재항목 중 본 사례 건물에 사용된 11개의 자재에 대해 4가지의 환산체계라이브러리 그룹분류에 따라 각각의 라이브러리를 구축하였다. 우선 BIM 기본수량산출을 통한 체적(m³)을 그대로 적용하여 탄소배출량을 평가하는 단순 환산자재 G1 그룹에는 레미콘과 모래를 분류하였고, BIM 자동물량산출 값을 탄소배출계수의 단위(kg/CO₂)로 변환할 때 kg단위를 적용하기 위해 비중 값을 이용하는 변환환산자재 G2 그룹에는 철근, 타일, 발포성 폴리스틸렌, 석고보드, 시멘트를 분류하였다. (그림 4 참조)

| 환경부하 관련 주요 건설자재 | 단위 | CO ₂ 배출원단위 (kg-CO ₂ / 단위) | G1 | 비중 | G2 |
|-----------------|----------------|---|-------------------------------|-------------------------|----|
| 레미콘 | m ³ | 421.87 | × BIM 자동물량(m ³) | | |
| 모래 | m ³ | 3.87 | | | |
| 철근 | kg | 0.40 | × BIM 자동물량(m ³) × | 89.32 kg/m ³ | |
| 타일 | kg | 0.35 | | 2400 kg/m ³ | |
| 발포성 폴리스틸렌 | kg | 12.73 | | 30 kg/m ³ | |
| 석고보드 | kg | 138.33 | | 910 kg/m ³ | |
| 시멘트 | kg | 0.98 | | 1500 kg/m ³ | |

그림 4. G1, G2 그룹의 환산체계

그 다음으로 BIM 라이브러리 요소가 2가지 이상의 건축자재를 포함하여 타 재료의 량이 포함되어 계산되는 량을 공제 후 이를 환산을 하여야 하는 분리 환산자재 G3 그룹은 공제 시 BIM 기본수량 값 중 면적과 체적에 기준량(정미량)을 적용하여 CO₂ 배출량을 평가하는 자재로 벽돌과 콘크리트 벽돌(블록)을 분류하였다. 개구부 요소인 창문, 문과 같이 타 자재가 포함되어며 수량산출이 특별한 수식으로 환산되는 자재를 복합환산자재 G4 그룹으로 분류하였다. G4 그룹은 기본수량을 통해 얻어진 높이, 폭을 이용하여 라이브러리내에서 복합자재의 각 부분별 수량을 산출하도록 구성되었다. (그림 5 참조)

| 환경부하 관련 주요 건설자재 | 단위 | CO ₂ 배출원단위 (kg-CO ₂ / 단위) | G3 | 분리 | |
|-----------------|----------------|---|----------------------------|--|--------|
| 콘크리트 벽돌 | 개 | 0.35 | → BIM 자동물량 면적 벽체적 | 벽 면적 → 벽돌 개수 → 벽돌 체적 물량 체적 = 벽 체적 - 벽돌 체적 | |
| 벽돌 | | 0.27 | | | |
| 환경부하 관련 주요 건설자재 | 단위 | CO ₂ 배출원단위 (kg-CO ₂ / 단위) | G4 | 분리 | 비중 |
| PVC 창문 및 창틀 | kg | 1.34 | → BIM 자동물량 개구부 높이, 폭 | 창틀길이: (높이+폭)×2 창문틀길이: (높이-2×외부프레임 폭)×4 + (폭+내부프레임 폭×2) 유리면적: (높이-2×외부프레임 폭-2×내부프레임 폭)×(폭-2×외부프레임 폭-3×내부프레임 폭) | PVC1.4 |
| 판유리 | m ² | 27.33 | | | |

그림 5. G3, G4 그룹의 환산체계

4.2 CO₂ 배출량 평가를 위한 라이브러리의 구축

(1) 탄소배출계수 환산체계 정보 및 수식적용

앞에서 설정된 탄소배출계수 환산체계와 관련수식을 BIM 모델링 프로그램의 해당 자재 라이브러리 속 성정보에 추가하였다. 기본 라이브러리로는 빌딩스마트 협회가 제공하는 KBIMS ver.1.0 Revit Architecture용 패밀리를 사용하였고 11개 자재에 대해 필요한 정보 또는 수식을 추가하였다.

예를 들어, G4 그룹에 속하는 PVC 창문의 경우, 국가 LCI 자재DB가 PVC의 중량과 유리의 면적으로 탄소배출계수 원단위가 제공되기 때문에 창문 패밀리의

이 병 호, 홍 성 욱, 신 성 우

기본 치수인 높이와 폭과 함께 창틀과 창문틀 두께정보 및 둘레길이 계산 수식, 비중정보, 순수유리부분의 면적을 산출하는 수식을 다음 그림 6에서와 같이 속성정보에 추가하였다.

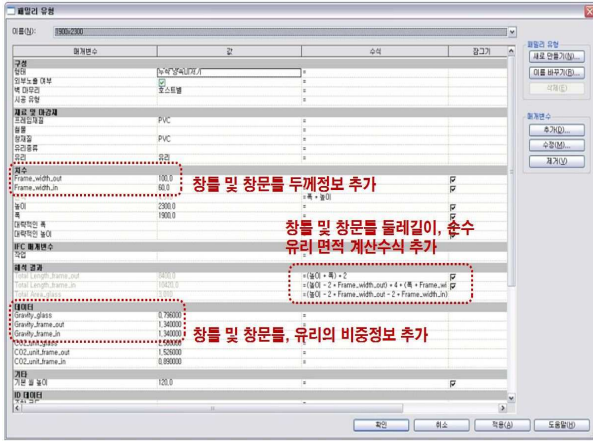


그림 6. G4 그룹인 PVC창문의 라이브러리 구축 예

(2) 표준공사코드의 맵핑

탄소배출계수 환산수식이 추가된 라이브러리와 LCI 자재DB 등 탄소배출계수가 수록된 일람표 템플릿을 적용할시 투입자재정보가 정확히 지정되어야 할 필요가 있다.

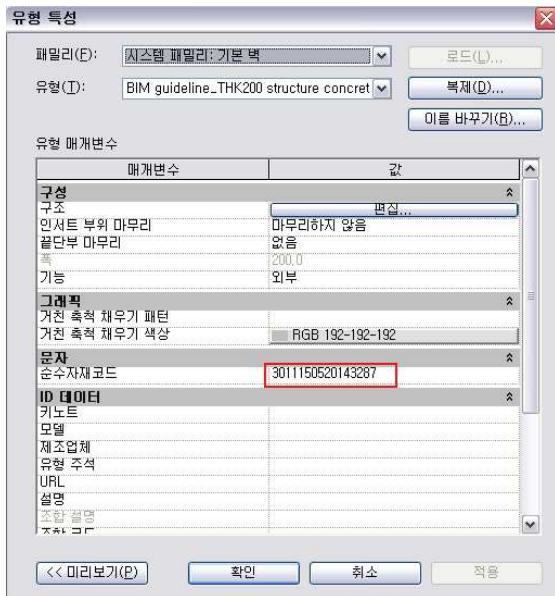


그림 7. 라이브러리 속성에 순수자재코드 입력

따라서 본 연구에서는 조달청 표준공사코드 중 자재에 대한 코드인 순수자재코드를 자재들의 속성과

일치되는 BIM 라이브러리에 지정하여 속성으로 입력해 주었다. 입력된 순수자재코드와 라이브러리를 서로 연결하여 지정해줌으로서 BIM 모델링 프로그램이 제공하는 기본수량산출기능과 탄소배출계수 환산체계에 의한 라이브러리를 이용하여 투입자재의 자재생산부분에 대한 효율적인 CO₂ 배출량 평가 및 관리가 이루어 질 수 있다.

4.3 자재생산부분 CO₂ 배출량 평가

앞 절에서 구축된 탄소배출계수 환산체계를 적용한 라이브러리와 BIM 기본수량산출기능인 일람표를 이용하여 건축물의 모델링에 사용된 자재들에 대한 자재생산부분 CO₂ 배출량을 평가하였다.

(1) 단순환산자재(G1) 그룹

레미콘과 같은 단순환산자재의 경우, 산출된 체적값(m³)에 탄소배출계수(CO₂kg/m³)를 적용하여 CO₂ 배출량을 산출할 수 있다.

| 재료 | CO2 Unit | 볼륨 | CO2_Emission(CO2/m³) |
|------|----------|----------|----------------------|
| 콘크리트 | 421.09 | 2.67 m³ | 1124.31 |
| 콘크리트 | 421.09 | 1.04 m³ | 438.48 |
| 콘크리트 | 421.09 | 0.91 m³ | 382.27 |
| 콘크리트 | 421.09 | 3.16 m³ | 1332.24 |
| 콘크리트 | 421.09 | 4.08 m³ | 1716.17 |
| 콘크리트 | 421.09 | 10.89 m³ | 4587.19 |
| 콘크리트 | 421.09 | 1.43 m³ | 602.63 |
| 콘크리트 | 421.09 | 2.38 m³ | 1000.83 |
| 콘크리트 | 421.09 | 0.96 m³ | 402.70 |
| 콘크리트 | 421.09 | 1.52 m³ | 638.05 |
| 콘크리트 | 421.09 | 0.37 m³ | 154.59 |
| 콘크리트 | 421.09 | 0.51 m³ | 216.61 |

그림 8. G1 그룹 환산체계가 적용된 레미콘 자재 일람표 예

(2) 변환환산자재(G2) 그룹

석고보드와 같이 탄소배출계수의 단위가 CO₂kg/kg 인 변환환산자재의 경우 산출된 체적값(m³)에 재료의 비중(kg/m³)을 적용하여 단위환산을 한 후 CO₂ 배출량을 산출되도록 한다.

| 재료 | CO2 Unit | 볼륨 | 비중(kg/m3) | CO2_Emission(kg/CO2) |
|------|----------|---------|-----------|----------------------|
| 석고보드 | 138.33 | 0.10 m³ | 30 | 395.79 |
| 석고보드 | 138.33 | 0.07 m³ | 30 | 278.94 |
| 석고보드 | 138.33 | 0.10 m³ | 30 | 395.79 |
| 석고보드 | 138.33 | 0.05 m³ | 30 | 226.49 |
| 석고보드 | 138.33 | 0.05 m³ | 30 | 226.49 |
| 석고보드 | 138.33 | 0.17 m³ | 30 | 694.73 |
| 석고보드 | 138.33 | 0.05 m³ | 30 | 204.24 |
| 석고보드 | 138.33 | 0.05 m³ | 30 | 196.84 |

그림 9. G2 그룹 환산체계가 적용된 석고보드 자재 일람표 예

(3) 분리환산자재(G3) 그룹

하나의 주자재 라이브러리에서 타 자재수량을 공제

할 필요가 있는 분리환산자재인 벽돌벽의 경우를 보면 우선 쌓기 두께별 면적을 통해 벽돌개수(정미량)를 산정한 후 탄소배출계수 CO₂kg/개를 적용하여 벽돌자재에 대한 CO₂ 배출량을 산출한다.

| 재료 | 면적 | CO2 Unit | 벽돌개수 | 벽돌 CO2 Emission(kgCO2/) |
|----|------------------|----------|------|-------------------------|
| 벽돌 | 1 m ² | 0.27 | 60 | 16 |
| 벽돌 | 1 m ² | 0.27 | 77 | 21 |
| 벽돌 | 1 m ² | 0.27 | 100 | 27 |
| 벽돌 | 1 m ² | 0.27 | 100 | 27 |
| 벽돌 | 1 m ² | 0.27 | 77 | 21 |
| 벽돌 | 1 m ² | 0.27 | 60 | 16 |
| 벽돌 | 3 m ² | 0.27 | 200 | 54 |
| 벽돌 | 2 m ² | 0.27 | 139 | 38 |

그림 10. G3 그룹 환산체계가 적용된 벽돌 자재 일람표 예

다음으로 전체 벽돌벽의 체적(m³)에서 벽돌자재의 체적을 벽돌개수와 벽돌크기를 통해 산출한 후 공제하면 몰탈의 체적을 산출할 수 있다. 몰탈의 체적(m³)당 사용되는 시멘트(510kg)와 모래(1.1m³) 값을 이용하고 탄소배출계수를 적용하여 시멘트와 모래의 CO₂ 배출량을 산출한다.

| 벽돌 체적 | 몰탈 체적 | 시멘트 체적 | 모래 체적 | 시멘트 CO2 Emission | 모래 CO2 Emission |
|-------|-------|--------|-------|------------------|-----------------|
| 0.06 | 0.09 | 45.9 | 0.099 | 48,654 | 0.16137 |
| 0.08 | 0.12 | 61.2 | 0.132 | 64,872 | 0.21516 |
| 0.10 | 0.15 | 76.5 | 0.165 | 81,090 | 0.26895 |
| 0.10 | 0.15 | 76.5 | 0.165 | 81,090 | 0.26895 |
| 0.08 | 0.12 | 61.2 | 0.132 | 64,872 | 0.21516 |
| 0.06 | 0.09 | 45.9 | 0.099 | 48,654 | 0.16137 |
| 0.20 | 0.31 | 158.1 | 0.341 | 167,586 | 0.55583 |
| 0.14 | 0.21 | 107.1 | 0.231 | 113,526 | 0.37653 |

그림 11. 벽돌벽으로부터 분리된 시멘트와 모래 자재 일람표 예

(4) 복합환산자재(G4) 그룹

조합된 자재들 각 부분들에 대한 수량을 탄소배출계수 환산수식을 적용할 수 있도록 먼저 계산한 후 각각의 수량값에 탄소배출계수를 적용하여 각 부분별 탄소배출량이 산출되도록 한다.

| frame_in_width | frame_out_width | Glass_area | Frame_in_total length | Frame_out_total length |
|----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 30 | 30 | 7,390 m ² | 19 m | 12 m |
| 30 | 30 | 7,390 m ² | 19 m | 12 m |
| 30 | 30 | 5,210 m ² | 18 m | 10 m |
| 30 | 30 | 12,404 m ² | 21 m | 16 m |
| 30 | 30 | 12,404 m ² | 21 m | 16 m |
| 30 | 30 | 6,693 m ² | 19 m | 11 m |
| 30 | 30 | 5,385 m ² | 18 m | 10 m |
| 30 | 30 | 3,684 m ² | 17 m | 8 m |
| 30 | 30 | 5,385 m ² | 18 m | 10 m |
| 30 | 30 | 6,693 m ² | 19 m | 11 m |
| 30 | 30 | 5,385 m ² | 18 m | 10 m |
| 30 | 30 | 7,390 m ² | 19 m | 12 m |
| 30 | 30 | 7,390 m ² | 19 m | 12 m |

그림 12. G4 그룹 환산체계 적용된 창문 자재 일람표 예

| CO2_emission_Glass | CO2_emission_frame_in | CO2_emission_frame_out | CO2_emission_frame |
|--------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|
| 14,706 | 22,743 | 24,129 | 46,872 |
| 14,706 | 22,743 | 24,129 | 46,872 |
| 10,368 | 21,550 | 20,039 | 41,590 |
| 24,684 | 25,486 | 33,535 | 59,021 |
| 24,684 | 25,486 | 33,535 | 59,021 |
| 13,318 | 22,361 | 22,820 | 45,182 |
| 10,715 | 21,646 | 20,367 | 42,012 |
| 7,332 | 20,715 | 17,177 | 37,892 |
| 10,715 | 21,646 | 20,367 | 42,012 |

그림 13. 창문의 각 자재별 탄소배출계수 적용 일람표 예

위와 같은 방식으로 공동주택 사례의 BIM모델에 사용된 11개 기본 투입자재항목에 대하여 국가 LCI 자재DB를 적용하여 자재별 CO₂배출량을 구하고 합산하여 표 4와 같이 자재생산부분에 대한 CO₂ 배출량을 산출하였다. 모래와 시멘트 자재는 분리환산자재 그룹에서 배출량이 도출되었고 철근은 G2 그룹인 변환환산자재이지만 본 연구의 범위가 계획설계 수준의 LOD인 점을 고려하여 콘크리트 대비 철근비를 적용하여 산출하였다.¹²⁾

5. 결론 및 후속 연구제안

탄소배출계수 환산체계는 자재별 단위환산의 방법이 국가 LCI 자재DB에서 제공하는 탄소배출계수 단위에 따라 달라지고 실제 건축물에서 사용되는 자재들은 단일자재구성이 아닌 여러 자재가 복합되어있는 자재들도 많이 사용되기 때문에 본 연구는 BIM 라이브러리 속성정보에 탄소배출 환산체계를 반영한 기본 라이브러리 구성 설정과 조달청 표준공사코드 중 순수자원코드를 추가하는 제안을 통해 네 가지 기본 라이브러리 그룹을 제안하였다.

제안된 기본 라이브러리 그룹별 탄소배출계수 환산체계를 계획설계 수준의 공동주택 기준층 BIM 모델링 사례에 적용하여 시범평가하였다. LCCO₂ 평가 중 자재생산부분 평가를 위해 해당되는 11개 투입자재항목에 대한 라이브러리를 작성하고 조달청 순수자원코드를 매개변수로 맵핑하여 BIM 모델링 프로그램의 일람표기능을 이용, 단위면적당 458.64kgCO₂/m²의 평가결과를 보여주었다.

최근 BIM도입의 어려움 또는 저해요인에 대한 설문조사에 따르면 설계회사 담당자의 66%이상이 BIM 라이브러리 및 콘텐츠 부족을 지적한 현실에서¹³⁾ 본

12) 본 공동주택의 경우 내역서 분석을 통해 콘크리트 체적m³당 60kg/m³로 가정하였다.

표 4. 자재생산부분 CO₂배출량

| 자재명 | BIM 기본수량산출 | 그룹명 | 국가 LCI DB 탄소배출계수(kgCO ₂ /unit) | CO ₂ 배출량(kgCO ₂) |
|--------------------------|---|-----|--|---|
| 레미콘 | 300.53m ³ | G1 | 421.09 | 126550.80 |
| 모래 | - | | 3.87 | 1.30 |
| 발포성 폴리스틸렌 | 9.63m ³ | G2 | 2.94 | 3677.70 |
| 석고보드 | 1.35m ³ | | 138.33 | 5602.37 |
| 시멘트 | - | | 1.06 | 601.80 |
| 철근 | - | | 0.4 | 7212.76 |
| 타일 | 186.93m ² / 3.68m ³ | | 0.35 | 3040.80 |
| 콘크리트 벽돌(블록) | 31.95m ² / 4.29m ³ | G3 | 2.89 | 6.20 |
| 벽돌 | 48.68m ² / 5.65m ³ | | 0.27 | 1239.57 |
| PVC창틀 | 1900×2300 | G4 | 1.34 | 1135.67 |
| | 2600×2300 | | | |
| | 2680×2300 | | | |
| 판유리 | 3280×2300 | | 27.33 | 328.65 |
| | 3600×2300 | | | |
| | 5900×2300 | | | |
| CO ₂ 배출량 총 합계 | | | | 149397.62kgCO ₂ |

연구를 통해 제안된 탄소배출계수 환산체계와 라이브러리 적용, 시범적용으로 보여준 자재생산부분 CO₂ 배출량 평가기법은 BIM기반 LCCO₂ 평가기법 개발에 큰 도움이 되리라 예상된다.

본 연구결과를 통해 개발된 건축물 LCCO₂ 평가를 위한 라이브러리는 보다 많은 자재종류와 상세설계 수준의 모델링에 적용할 수 있도록 발전시키는 후속 연구를 진행할 예정이다. 또한 운용단계 CO₂ 평가에서 중요한 BIM기반 에너지 시뮬레이션을 자재 라이브러리에서 지원하는 방안과 함께 시뮬레이션 결과를 통합평가하는 BIM기반 LCCO₂ 평가 프로그램 개발에 대한 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. 국토해양부, 시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인-건축물, 2011.08
2. 금원석, 태성호, 건축자재 품목코드를 이용한 BIM모델링의 전과정 CO₂ 평가방안에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 제32권 1호, 2012.04
3. 노승준 외 6인, 목적지향형 건축물 전과정 CO₂ 평가 프로그램(LOCAS) 개발, 대한건축학회 논문집, 제28권 1호, 2012.01
4. 백정훈 외 4인, 건축물 계획단계 LCCO₂ 평가시스템의 필요요소에 관한 연구, 한국건설관리학회 논문집 제12권 3호, 2011.05

5. 여영호, 이병호, 2.1 친환경 거주성 및 최적 공간설계, “친환경건축 기술과 경제성”, 기문당, 2010
6. 우지환, 신성우, 표준공동주택의 주요 건설자재 설정을 통한 공동주택 환경부하 평가 기술개발에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 제10권 1호, 2010.02
7. 조대구 외 3인, BIM 라이브러리 및 콘텐츠 교환 체계 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제 30권 1호, 2010.10
8. 태성호 외 3인, 공동주택의 전 생애주기 이산화탄소(LCCO₂) 간이평가 기법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제26권 8호
9. 조달청 공사코드운영시스템 (www.spacesyntax.com)

논문접수일 (2012. 5. 22)
 심사완료일 (1차 : 2012. 6. 5, 2차 : 해당 없음)
 게재확정일 (2012. 6. 8)

- 13) 조대구 외 3인, 'BIM 라이브러리 및 콘텐츠 교환 체계 연구', 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제 30권 1호, 2010.10