



# OpenLCA™ DB를 이용한 농촌 공동체 건축물 전과정평가

## Life Cycle Assessment of Rural Community Buildings Using OpenLCA™ DB

김용민<sup>a</sup> · 이병준<sup>b</sup> · 윤성수<sup>c,†</sup>

Kim, Yongmin · Lee, Byungjoon · Yoon, Seongsoo

### ABSTRACT

Most of the rural development projects for the welfare of residents are mainly new construction and remodeling projects for community buildings such as village halls and senior citizens. However, in the case of the construction industry, it has been studied that 23% of the total carbon dioxide emissions generated in Korea are generated in the building-related sector. (GGIC, 2015) In order to reduce the emission of environmental pollutants resulting from construction of rural community buildings, there is a need to establish a system for rural buildings by predicting the environmental impact. As a result of this study, the emissions of air pollutants from buildings in rural communities were analyzed by dividing into seven stages: material production, construction, operation, maintenance, demolition, recycling, and transportation activities related to disposal. As a result, 12 kg of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), 0.06 kg of carbon monoxide (CO), 0.02 kg of methane (CH<sub>4</sub>), 0.04 kg of nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), 0.02 kg of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), and non-methane volatile organics per 1m of buildings in rural communities It was analyzed that 0.02 kg of compound (NMVOC) and 0.00011 kg of nitrous oxide (NO<sub>x</sub>) were released. This study proved that environmentally friendly design is possible with a quantitative methodology for the comparison of operating energy and air pollutant emissions through the design specification change based on the statement of the rural community building. It is considered that it can function as basic data for further research by collecting major structural changes and materials of rural community buildings.

Keywords: Life cycle assessment; OpenLCA™; rural community; air pollution; inventory DB

## 1. 서론

농촌은 산업화와 더불어 낙후된 농촌의 삶의 질을 높이고, 주민들의 복지를 높이기 위한 목적으로 개발은 필연적으로 이루어진다 (Kim, 2021). 2000년대 이후 마을 단위 각종 사업 추진 시 마을회관·경로당 등과 같은 농촌 공동체 건축물은 마을주민들의 모임과 복지·문화 공간의 중심지 역할로 운영되기 시작하면서 기능적 역할이 확대되었다. 농촌 공동체 건축물은 1999년 이전에 준공된 건물의 비율이 약 50%를 차지하고 있으며 (Park, 2018), 건물의 노후화와 주민들의 수요로 인하여 농촌 공동체 건축물의 신축 및 리모델링 사업에 대한 요구가 높아졌다.

건축물은 수명주기 동안 에너지 자원, 물, 토지, 광물 등 다양한 천연자원이 소비되고 많은 종류의 오염물질이 지역 환경으로 다시 방출된다 (Li, 2006). 특히 방출되는 여러 오염물질 중 이산화탄소는 산성비 등으로 주변 생태계에 직접 또는 만성적인 피해를 일으킬 수 있고 자연으로부터 상품을 얻는 농업생산활동에도 영향을 끼칠 우려가 있다 (Lee, 2012). 국내 산업분야 중 건설업의 경우, 전체 이산화탄소 배출량의 26%가 건축과 관련된 부문에서 발생하고 있는 실정으로, 배출되는 이산화탄소를 저감하기 위한 사회적 요구는 지속적으로 커져가고 있다 (GGIRC, 2020). 따라서 농촌 공동체 건축물의 신축 및 리모델링 사업에 있어서도 지속가능한 농촌을 유지하기 위해 이산화탄소의 부하량을 최소화하는 방향으로 개발이 이뤄져야 한다.

건설업의 경우, 국내에서 발생하는 전체 이산화탄소 배출의 23%가 건축물과 관련된 부문에서 발생하고 있는 것으로 연구되었다 (GGIRC, 2015). 농촌 공동체 건축물 시공에 따르는 환경오염물질의 배출을 저감하기 위해 환경영향을 예측하여 농촌 건축물에 대한 체계를 구축할 필요성이 있다.

전과정 영향평가는 분류화 (classification), 특성화 (characterization), 정규화 (normalization), 가중화 (weighting)의 순서로 구성되어 있다. 여기서 분류화 및 특성화 단계는

<sup>a</sup> Ph.D. Student, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

<sup>b</sup> Ph.D. Student, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

<sup>c</sup> Professor, Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungbuk National University

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-43-261-2575, Fax: +82-43-271-5922

E-mail: [yss@cbnu.ac.kr](mailto:yss@cbnu.ac.kr)

Received: April 05, 2021

Revised: May 17, 2021

Accepted: May 18, 2021

전과정평가의 ISO14040 의무규정에 속하며, 정규화와 가중화 평가는 선택사항으로, 이에 대한 연구와 국제적 합의작업이 이루어지고 있다 (Yoo, 2010).

전주기평가 (LCA) 분석을 위해서는 재료에 대한 인벤토리와 공정에 대한 인벤토리가 건설공사에 적용되어야 하는데, 국내의 LCA 시스템은 모든 공정을 제공하지 않으며, 국외의 LCA 시스템은 국내 데이터베이스로 변환과정이 필요하다. 또한 보다 정확한 농촌분야 개발사업의 LCA 분석이 가능하도록 국내 농촌에 적합한 영향평가 모델 및 특성화, 일반화, 가중화 계수의 선정 등이 이루어져야 한다 (Yoo, 2010). LCA 평가는 환경영향평가 방법은 ISO14040에 의해 평가하는 방법으로, 국제표준화기구 기술위원회 TC 207에서 국제적 합의에 의하여 제정되었다. LCA 분석 목적은 환경적으로 건전하고 지속 가능한 발전을 실현하기 위하여 제품, 재료 등의 전과정을 통한 자원, 에너지 비 및 환경오염 부하를 최소화시키고 개선방안을 모색하는데 있다 (Kim, 1994).

건축물에 대한 이산화탄소 배출량을 정량적으로 제시하는 방법론에 관한 연구는 축물의 환경성능을 평가하기 위한 방법론으로 활용되는 LCA의 방법론과 개념 적용하여 최초로 도입되었고 (Kim, 1994), 2018년 건설공사시 발생하는 환경부하 관리를 위해서는 시공시 실제 투입되는 물량을 파악하기 위해, 2D 설계를 바탕으로 LCA평가의 경우 도면, 내역서 등을 활용하는 방안을 제시하고, BIM과 LCA 분석의 결합 가능성까지 연구되었다 (Lee, 2018).

농어촌개발사업으로 조성되는 시설물의 친환경 설계를 위해서는 시설물의 LCA 분석을 통해 탄소발생량을 산정하고, 각 시설의 평면에 따른 발생량의 차이를 통해 보다 환경성이 우수한 설계의 제시가 이루어져야한다. 이를 위해서 시급히 농어촌개발사업으로 설계된 시설물의 설계내역서를 국내외로 통용되고 있는 LCA 인벤토리를 적용가능성을 파악하고, 또한 시설물의 조성에 따른 이산화탄소 발생량을 산정하는데

문제가 없는지 파악하며, 설계도를 근거로 평면과 이산화탄소 발생량의 관계가 연구되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 농어촌개발사업에 의해 조성되는 시설물 중 농촌 공동체 건축물의 환경영향의 차이성을 규명하기 위해, 충청북도 내 농어촌개발사업이 진행된 마을을 대상으로 OpenLCA™ DB를 이용한 농촌 공동체 건축물에 대한 전과정평가를 목적으로 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 전과정평가 (Life Cycle Assessment)

전과정평가는 제품 또는 서비스의 생애주기 동안에 필연적으로 발생하는 환경부하 물질을 규명하고, 이러한 환경부하 물질들로 인한 환경영향을 평가하는 기법이다. (ISO 2006) 전과정평가에 대한 국제규격은 ISO 14040's에서 1997년 표준화가 이루어져 기본원칙과 관련 규격이 제정되기 시작하였다. ISO 14040's는 기본적으로 전과정평가의 기본개념과 구조를 설명하는 ISO 14040과 단계별 규격을 다루는 ISO 14041 (목적과 범위설정, 목록분석), ISO 14042 (전과정 영향평가), ISO 14043 (전과정 해석)으로 구성되어 있다. 또한, 이들 규격의 이해와 LCA의 수행을 보조하는 규격으로 ISO 14047, ISO 14048, ISO 14049가 있다 (Fig. 1).

건축물의 전과정평가 경우 시공상의 모든 과정인 원료채취 단계, 가공, 조립, 수송, 사용, 폐기의 모든 과정에 걸쳐 에너지와 광물자원의 사용으로 인한 대기 및 수계, 토양의 환경 부하량을 정량화하고 환경에 미치는 잠재적 영향을 규명 및 평가하는 기법이다 (Fig. 2).

LCA의 도입 및 활용은 제품 생산시 환경 부하를 줄이기 위해 공정개선, 조건변화 등의 조치를 취할 수 있으며, 기존 공정 보다 환경적으로 개선되었는지를 판단할 수 있게 된다.

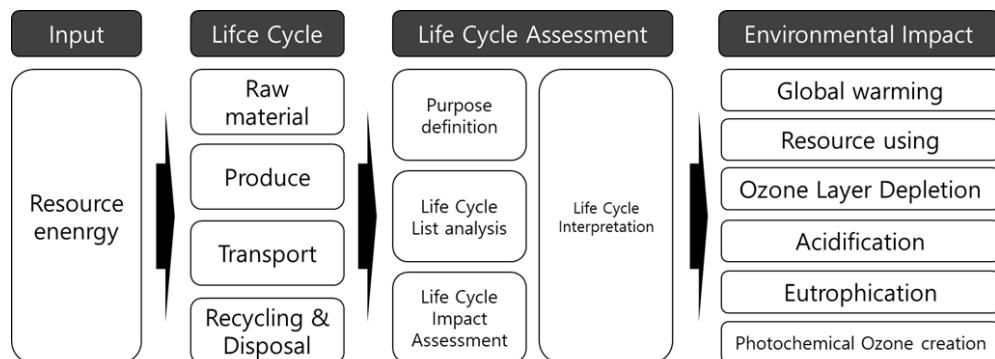


Fig. 1 Concept of LCA analysis

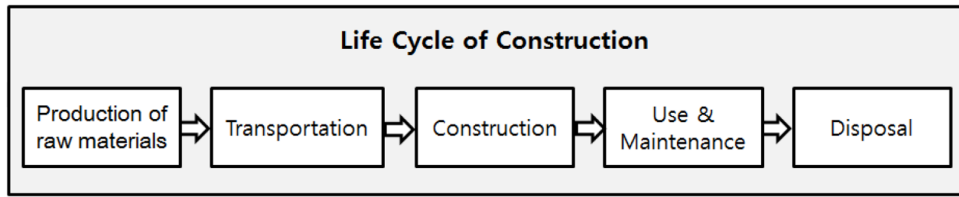


Fig. 2 Stages of life cycle of construction

환경부하 물질을 정량화 하기 위한 전과정평가는 개별적산 방식 (Process Analysis)과 산업연관방식 (Input-Output Analysis), 그리고 이 두 가지를 조합한 조합방식으로 구분된다 (Kim, 2001).

개별적산방식은 각각의 제품이 제조되어 폐기되기까지 발생하는 환경부하량을 구체적으로 조사해나가는 방법이다. 이 방법은 모든 재료에 대한 환경부하량을 각 공정별로 상세하게 기입해야하므로 조사범위가 광범위하고, 객관적인 데이터 산출이 어렵다. 이로 인해 데이터의 누락이 발생하여 데이터의 수많은 자재로 구성된 건축물에 대한 LCA를 평가하는데 신뢰성이 낮고 데이터베이스화 시키는데 한계점이 있다 (Jo, 2012).

산업연관방식은 산업연관표를 이용하여 국민경제에 있어서 통상 1년간에 이루어진 재화나 서비스의 산업상호간의 거래를 행렬로 나타낸 것으로, 투입·산출표라고도 한다. 산업연관방식은 405개 산업부문 중 대상이 되는 부문의 생산품에 따라 에너지의 소비량과 환경부하량 등을 구하는 방식으로 각 산업의 최종 수요액으로부터 역행렬표 등을 이용하여 유발되는 생산액을 구하여 에너지의 소비량과 환경부하량 등을 구하는 매크로 방식이다 (Jo, 2012). 이는 생산과 활동 등에 따라 직접 소비되는 에너지량 및 환경부하량과 간접적으로 소비되는 에너지량 및 환경부하량을 추계할 수 있어 환경부하를 종합적으로 파악하고 개별적산방식의 결점을 보완할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 산업연관방식의 개념을 바탕으로 농촌 공동체 건축물의 이산화탄소 부하량을 산출하고자 한다.

2. 농촌 공동체 건축물 CO<sub>2</sub>부하량 원단위 산출

건축분야 전과정평가를 위해서는 건설자재와 건설공정에 대한 항목이 필요하다. 건설자재에 대한 인벤토리는 환경부와 산업통상자원부에서 개발한 국가 LCI DB를 제공하고 있으며, 건축자재 LCA DB가 구축되어 있다. 그러나 건설공정에 대한 부분은 일위대가, 단가산출에 따라 다르게 작성될 수 있기 때문에 객관적인 분석을 위해서 공정내역서의 표준품셈 체계를 사용하는 것이 유리하다. 표준품셈은 시설공사의 대

표적이고 보편적인 공종, 공법을 기준으로 하여 작업당 소요되는 재료량, 노무량, 장비사용시간 등을 수치로 표시한 표준적인 기준이며, 정부 등 공공기관에서 시행하는 건설공사의 적정한 예정가격을 산정하기 위해 일반적인 기준제공을 목적으로 한다.

건축분야에서 환경영향을 줄이기 위해서는 건물로 인한 환경영향을 정량화하는 것이 우선적인 요소이다. 이에 대하여 전과정평가를 기반으로 환경영향 평가 방법을 개발하고 있으며, 전체 에너지소비를 기반으로 환경영향을 정량화 할 수 있다. 일반적인 주거형태인 아파트와 같은 빌딩형식의 건축물에 비해 농촌 건축물에 관한 환경영향 분석은 거의 이루어지지 않았다. 대기오염배출물과 에너지소비량에 따른 전과정평가 방법론을 토대로 자재생산, 건설, 운영, 유지보수, 해체 및 폐기 각 단계별로 지구온난화지수 (GWP), 산성화지수 (AP), 부영양화지수 (EP), 오존층파괴지수 (ODP) 4가지 유형의 환경영향지수를 분석한다. 농촌 공동체 건축물의 전과정평가를 위해 건설에 필요한 자재의 생산, 건설, 운영, 유지보수, 해체, 재활용 및 폐기의 단계와 운반을 고려한 범위를 설정하였다. 그리고 각 공정에서 발생하는 대기오염물질인 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>), 일산화탄소 (CO), 메탄 (CH<sub>4</sub>), 질소산화물 (NO<sub>x</sub>), 아황산가스 (SO<sub>2</sub>), 비메탄계 휘발성 유기화합물 (NMVOC), 아산화질소 (N<sub>2</sub>O)를 대상으로 한 대기오염 배출량을 분석이 필요하다.

LCA 분석을 위해서는 LCI 데이터베이스가 건축에 사용되는 건설자재에 대한 항목과 건설공정에 대한 항목 자료가 필요하다. 대부분의 건설자재에 대한 인벤토리는 시스템에서 제공하고 있으나, 반면 공정에 대한 부분은 같은 공정이라도 일위대가, 단가산출에 따라 다르게 작성될 수 있다. 또한, 이 항목에 대한 LCI 데이터베이스에 완벽하게 일치하는 경우는 드물며, 따라서 이에 대한 LCA 분석을 위해서는 공정내역서의 표준품셈 체계를 사용하는 것이 유리하다. 표준품셈이란 시설공사의 대표적이고 보편적인 공종, 공법을 기준으로 하여 작업당 소요되는 재료량, 노무량, 장비사용시간 등을 수치로 표시한 표준적인 기준이며, 정부 등 공공기관에서 시행하는 건설공사의 적정한 예정가격을 산정하기 위한 일반적인

기준을 제공을 목적으로 한다. 모든 공사는 표준품셈 체계로 공정을 구성하고 있으므로 각 공정과정에서 LCI에 적용하는 것은 합리적인 선택이다. 현실적으로 표준품셈에 의한 원가는 노무비, 재료비, 경비로 구성되므로, 이중 노무비는 투입된 인력에 의해 발생하는 대기오염물질이고, 건설공사와 관계없이 발생하므로, LCA 분석에서는 제외한다. 재료비는 건축공사에 사용되는 재료를 나타내므로 LCI에서 사용재료를 통해 계산이 가능하며, 경비는 공사의 시공을 위하여 소요되는 공사원가 중 재료비, 노무비를 제외한 원가를 말하며, 기업의 유지를 위한 관리활동부문에서 발생하는 일반관리비와 구분된다. 주로 소모되는 기름 등에 의해 결정되므로, 공정에 따른 일위대가에서 결정된다. 따라서 표준품셈에 의한 LCA 적용을 본 연구에서 수행하였다.

### 3. OpenLCA™

OpenLCA™는 미국 DeltaGreen 사에서 개발한 소프트웨어로, 전세계 LCA 데이터베이스를 하나의 포맷으로 통합하여, 대상의 수명주기를 모델링한다. 접근방식은 ISO 14040 및 14044의 표준을 따르고 있어 건축물의 LCA 해석을 가능하게 한다. 본 연구에서는 OpenLCA™를 이용하여 LCA 연구를 수행하였으며, Fig. 3은 OpenLCA™의 그래픽 인터페이스 구성 내용이다. 인터페이스는 좌측에 네이게이션창을 통해 분석 프로젝트를 작성하고, 우측 캄버스에서 각 항목의 I/O 에 따른 내용을 검색, 확인하거나, 신규 입력한다.

전과정목록분석 (Life Cycle Inventory analysis: LCI)은 주어진 제품시스템의 전과정에 걸친 투입물과 산출물의 목록을 수집하고 이를 정량화하는 전과정평가 (Life Cycle Assessment: LCA)의 한 과정이다. LCA분석 단계 중 목록자료의 수집단계는 인력과 시간 소요가 가장 많은 단계로서, 수집할 자료를 선정하고 사전에 선행 연구자료를 통해 검토하는 것이 인벤토리의 작성에 용이하다. 자료의 수집은 문헌을 통한 조사가 이뤄지기도 하지만 실제 공정상의 자료를 수집하기 위해서는 설문서를 작성하는 방법을 이용한다. 자료를 수집하는 과정에서 연구 목적에 맞는 정량적 자료와 정성적 자료를 수집하고, 반드시 자료의 출처를 작성하여 차후 자료의 확인과 자료 품질을 평가할 수 있도록 한다. 목록자료의 수집과정은 목록자료의 수집에 앞서 수집자의 가장 합리적인 방법으로 자료를 수집하고, 할당 및 가정에 따른 세부적인 조건과 내용을 상세히 기록하여 보관한다. 수집 자료는 동일기간 것을 사용하고, LCA 목적에 따라 원료채취, 제조, 유통, 사용, 폐기 등의 구분을 명확히 설정한다. 자료수집 시 비정상적인 자료는 제외하여 계산한다. 예측이 가능한 비정상 상태는 포함 가능하며, 투입물과 산출물의 단위는 일치되어야 한다. 초기에 자료 수집의 단위는 관리되고 있는 단위를 사용하여 수집 및 기록한다. 자료의 수집은 실제 측정값, 문헌 자료, 수학적 모델, 소프트웨어의 데이터 등을 이용할 수 있으나, 사용 자료에 대한 출처를 명확히 작성한다.

ISO 14044를 준용한 LCI 수행절차는 ① 건설 사업에서 단

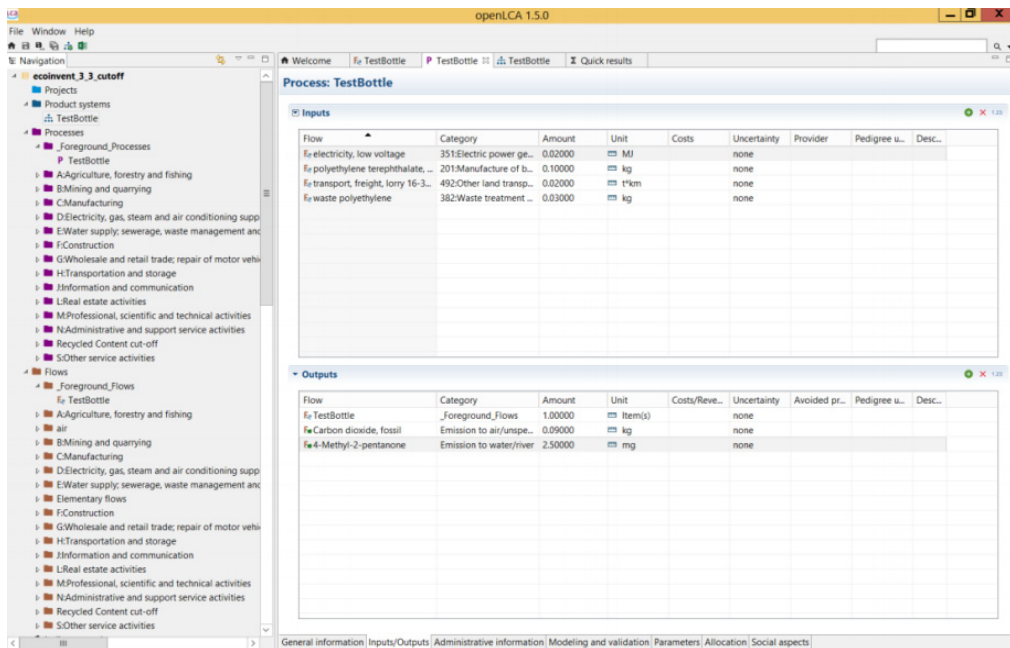


Fig. 3 Graphic user interface of OpenLCA™



Flow	Category	Amount	Unit	Costs/R...	Uncerta...	Avoided ...	Provider	Data qual...	Descr...
Aggregate, natural	Resource/in ground	6.98873E-7	kg		none				
Air	Resource/in air	0.29653	kg		none				
Slate	Resource/in ground	3.93265E-9	kg		none				
Beaute	Resource/in ground	2.15237E-6	kg		none				
biomass; 14.7 MJ/kg	Resource/biotic	0.07539	MJ		none				
brown coal; 11.9 MJ/kg	Resource/in ground	0.00015	MJ		none				
Calcium carbonate, in gro...	Resource/in ground	0.00014	kg		none				
carcass meat	Wastes/Production re...	1.75790E-9	kg		none		P Dum...		
Chemicals (unspecified)	Production residues L...	-0.00191	kg		none		P Dum...		

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/R...	Uncerta...	Avoided ...	Provider	Data qual...	Descr...
Particulates, < 10 um	Emission to water/fr...	8.74730E-6	kg		none				
Particulates, < 2.5 um	Emission to air/unsp...	3.89326E-15	kg		none				
Particulates, > 10 um	Emission to water/fr...	8.84230E-5	kg		none				
Phenol	Emission to water/fr...	1.98219E-6	kg		none				
Phosphate	Emission to water/fr...	0.00054	kg		none				
polypropylene granulate L...	Materials production...	1.00000	kg		none				
Potassium	Emission to water/fr...	1.17514E-9	kg		none				
Propene	Emission to air/unsp...	1.22810E-6	kg		none				
Selenium	Emission to air/unsp...	1.00504E-15	kg		none				

Fig. 4 OpenLCA™ database process

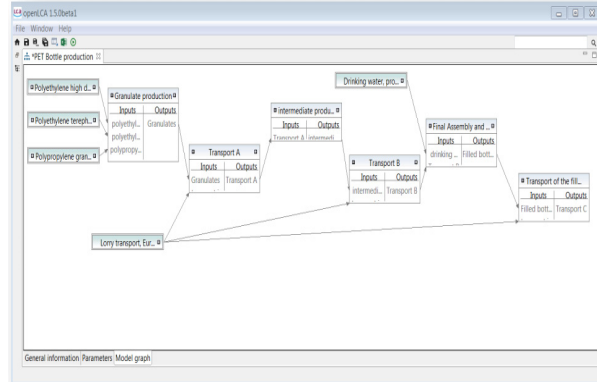


Fig. 5 OpenLCA™ process networks

위공정 결정 및 공정도 작성, ② 건설 공정과 관련된 자료의 수집, ③ 건설 공정 자료의 검증, ④ 건설 공정 자료 계산, ⑤ 상·하위 흐름을 통해 데이터베이스 연결, ⑥ 전과정 목록표 작성의 과정이다.

LCA DB를 이용하여 건축 재료에 대한 투입물과 추출물에 대한 정보를 프로그램에서 불러오게 되면, Fig. 4와 같이 재료의 환경영향정보가 나타난다. 이를 바탕으로 제조, 운송, 운영, 폐기까지의 LCA 프로세스를 맞추어 전과정평가를 실시한다. LCA 프로세스는 Fig. 5와 같다.

건축물을 LCA 평가하기 위해서 먼저 건축물의 설계도서 중 내역서에서 건축물에 해당하는 공정별집계표를 통해 해당하는 건축공사를 선택하고, 공종별 내역서의 품명에서 포함되는 내역을 리스트화 한다. 여기에 일위대가 목록 및 일위대가표에서 각 소요되는 재료의 양을 추출하고, 물량산출서에




서 해당하는 양을 추출할 수 있어, 각 공사에 대한 재료의 소요량을 조사한다. 이를 LCA 인벤토리에서 개별적으로 입력하여, 해당하는 항목의 자료를 선택함으로써 각 부하량 내역을 얻게 된다. 각 부하량은 생산, 운반, 시공에 따른 온실가스 발생량을 나타내며, 에너지량으로도 계산된다. 모든 재료에 대해 입력하여 위의 과정을 역으로 최종적인 온실가스 발생량이 결정된다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 평가 대상 건축물

LCA 분석을 농촌 건설공사에 적용하기 위해 먼저 개별연구를 수행하고자 연구 목적을 설정하였다. 이를 위하여 충청

Table 1 Study area

Project name	Chojeong-ri village development project	Lotus village development project	Namil-myeon general agricultural and fishing village development project
Project period	2018. 01. 01.~2020. 12. 31.	2018. 01. 01.~2020. 12. 31.	2017. 01. 01.~2019. 12. 31.
Location	Naesu-eup, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	Gangnae-myeon, Heungdeok-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do	Namil-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do
Project target area	Senior dormitory	Senior dormitory	Rural community building
Project contents	Remodeling	Remodeling	New Construction
Total project cost	500,000,000 won	1,000,000,000 won	880,000,000 won
Project plan			

북도에서 시행된 일반농산어촌사업 중 마을만들기 사업을 통해 조성되는 농촌 공동체 건축물을 대상으로 하였는데 선정된 마을은 2017년도부터 2019년도에 농촌마을만들기사업을 진행한 마을들로 공현리, 초정리, 현암리를 대상으로 하였음. 농촌 공동체 건축물은 마을의 공용 시설로 마을회관, 경로회관 등으로 이용할 목적으로 구축되는 건축물이다. 본 연구의 대상이 되는 농촌 공동체 건축물의 개요는 Table 1과 같다.

연구대상인 공동체 건축물은 마을회관으로 대부분의 농촌 마을에 운영되고 있는데, 많은 마을회관이 노후화가 진척되어 개축 또는 신설로 재설계되고 있어, 그 수요가 많으며, 이에 따라 선행적으로 설계에 따른 온실가스 발생량을 검토하는 것은 시급히 연구될 사항이다.

본 연구에서는 충청북도 내 농촌마을만들기사업을 진행한 마을 중 마을회관에 대한 건축 내역서를 활용하였으며, 자재 생산 및 시공단계까지의 LCA 분석을 실시하였다. 3개의 건축물 중 초정리 마을회관은 노인회관 형태로 운영되며, 개축하는 사업으로 총 5억원의 사업비가 투입되고 공사이며, 공현리 연꽃마을 마을회관도 노인회관으로 운영하기 위해 개축되는 건축물로 총 10억원의 사업비가 규모이다. 남일면 현암리 소재 농어민회관 건축물로 농촌 복지를 목적으로 신축되며, 8.8억원의 공사비 규모이다. 각 연구 대상 건축물의 설계도서에서 공사비 내역서와 도면을 이용하였는데, 농촌마을만들기 사업의 LCA 분석 모델을 만들기 위해 공종별 내역을 구분하고, 시공에 사용된 대표재료를 선정하였다. 대표되는 건축재료로는 콘크리트, 순환 골재, 모래, 시멘트, PVC, 유리섬유, 판유리, 터파기, 석고보드, 백호가 있으며, Table 2와 같다.

## 2. LCA 해석 결과 및 고찰

본 연구에 적용되는 대상물을 분석할 결과는 Table 3과 같다. LCA 분석 방법을 이용한 농촌지역 생활 SOC 환경부하량 결과로, 분석결과 석고보드에 대한 이산화탄소 부하량이 높게 측정되었으며, 석고의 성분이 석회의 성질을 이루기 때문에 결과값이 높은 비율로 측정된 것으로 보인다. 초정리의 경우 마을회관의 유지보수 공사를 실시하였으며, 다른 부재들에 비해 이산화탄소 부하량 총량이 비교적 적게 나왔으며, 이산화탄소 발생의 총량으로는 공현리 16,670 kg, 초정리, 9,900 kg, 현암리 11,621 kg이 발생하였으며, 본 연구에서 활용된 연구 결과를 토대로 앞으로 진행될 마을들에 대한 이산화탄소 부하량에 대한 비교 및 검토가 가능하다 (Figs. 6, 7).

연구 결과인 데이터베이스를 활용하여 각 건축자재별 LCA 데이터베이스를 바탕으로 농촌마을만들기사업 진행 시 발생하는 이산화탄소 부하량을 예측할 수 있으며, 이에 대한 이산화탄소 저감효과를 가져올 수 있다. 농촌 공동체 건축물의 전과정평가를 통하여 전체 생애주기 50년 동안 1 m<sup>3</sup> 당 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 16 kg, 일산화탄소 (CO) 0.04 kg, 메탄 (CH<sub>4</sub>) 0.04 kg, 질소산화물 (NO<sub>x</sub>) 0.03 kg, 아황산가스 (SO<sub>2</sub>) 0.03 kg, 비메탄계 휘발성 유기화합물 (NMVOC) 0.03 kg, 아산화질소 (N<sub>2</sub>O) 0.00011 kg의 대기오염물질을 배출하는 것으로 분석되었다. 각 단계 별 대기오염물질의 배출량은 Table 4와 같은데, 자재 생산단계에서의 대기오염물질의 배출량, 운송단계 배출량, 시공단계 배출량, 운영단계 배출량, 해체단계 배출량, 폐기단계 배출량을 각각 산출하고, 이를 종합적으로 비교하였다. 각 단계별로 보면 이산화탄소를 비롯한 대부분의 대기오염물질

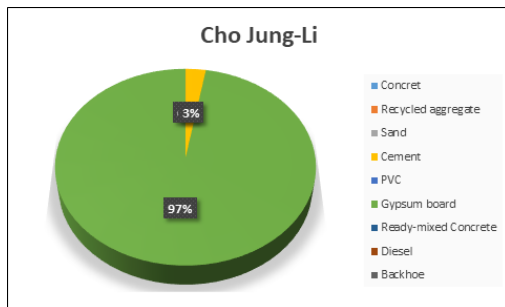
**Table 2** List of construction material for LCA analysis

Categories		Label		Value
Categories 1	Categories 2	Title	Unit	kg, CO <sub>2</sub>
Material	Construction	Concrete	kg	0.1500
Material	Construction	Aggregate	kg	0.0147
Material	Construction	Sand	kg	0.0100
Material	Construction	Cement	kg	0.9250
Material	Construction	PVC	kg	1.3200
Material	Construction	Glass fiber	kg	3.7000
Material	Construction	Glass	kg	0.0750
Material	Construction	Gypsum board	kg	135.0000
Material	Construction	Remicon 25-21-15	m <sup>3</sup>	410.0000
Material	Construction	Woodchip	kg	0.2660
Energy	Heat	Diesel	l	0.0681
Transit	8~12ton	Truck	km	0.0036

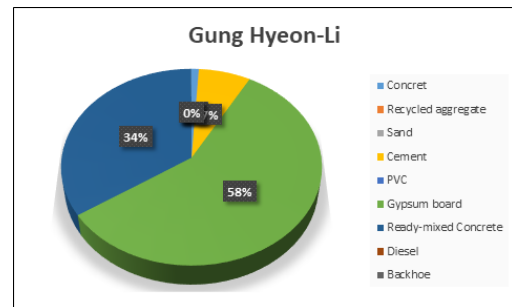
**Table 3** Result of rural community building CO<sub>2</sub> emission

(Unit: g-CO<sub>2</sub> eq/g)

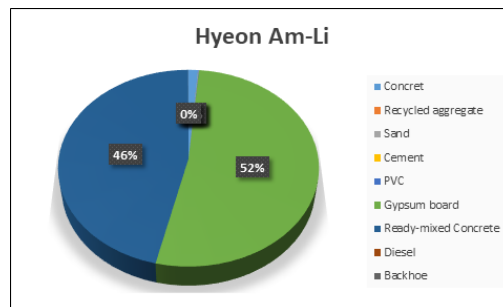
Material	Gung Hyun	Chojeong	Hyun Am
Concrete	157.80	157.8	150.54
Recycled aggregate	0.44	0.23	0.88
Sand	10.74	5.42	9.42
Cement	1174.80	152.19	0
PVC	0.01	0	5.66
Gypsum board	9585.94	9585	6075.00
Ready-mixed concrete	5740.04	0	5379.21
Back-hoe loader	0.01	0.01	1.77
Total	16,669.78	9,900.65	11,622.48



(a) Cho Jung

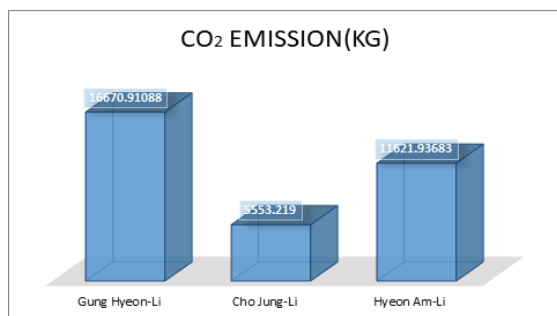


(b) Gung Hyeon



(c) Hyeon Am

**Fig. 6** Results of LCA analysis for study area



**Fig. 7** Total amount of CO<sub>2</sub> generated load

들의 배출량을 분석하면 운영부분이 가장 큰 영향을 미치며 다음으로 자재생산임을 알 수 있었다. 하지만 일산화탄소의 경우 자재생산단계는 97.93%로 대부분의 배출량을 차지하였으며, 비메탄계 휘발성 유기화합물은 운영부분 59.83%, 자재생산 40.04%의 순으로 차이를 보였다.

시설의 규모면에서 보면 예상과 달리 초정리의 규모가 154.2 m<sup>2</sup>로 공현리 (103.5 m<sup>2</sup>) 보다 크에도 CO<sub>2</sub> 부하량은 적게 나타났는데, 이것은 건축 평면에서 벽체의 규모, 계단과 기초 등 여러 요소에 의해 재료 소요에 따른 것으로 판단된다. 따라

Table 4 Air pollutant emission by construction stage

(Unit: kg)

Construction stage	Material production	Construction	Operation	Demolition	Recycling	Transportation	Total
CO <sub>2</sub>	3,180,962	12,770	16,532,176	4,415	23,563	97	19,753,983
CH <sub>4</sub>	3,601	6.12	21,140	0.43	78	0.03	24,825.58
N <sub>2</sub> O	6.68	0.03	48	0	0.06	0	54.77
SO <sub>2</sub>	2,441	4.87	22,218	6.09	1.95	0.13	24,672.04
CO	315,422	1.31	7,001	9.02	1.98	0.01	322,435.32
NO <sub>x</sub>	6,546	4.87	37,469	3.87	6.78	0.12	44,030.64
NM VOC	342	0.29	541	0.01	0.74	0.0002	884.04

서 같은 시설의 규모라도 건축평면의 형태 등 시설 구상과 계획에 의해 CO<sub>2</sub> 발생량은 차이가 있어 공간의 효율과 CO<sub>2</sub> 발생량의 관점에서 건축물이 구상되어야 할 필요성을 알 수 있다.

본 연구에서는 OpenLCA™ 데이터베이스를 이용하여 농촌 공동체 건축물에 대한 전과정평가를 실시하였다. 농어촌개발사업 중 건축공사에 LCA를 적용하기 위한 모델로 내역서와 일위대가표는 재료의 단위별 산출내역이 작성되어 있고, 단위에 대한 산출내역을 바탕으로 각 재료에 대한 단위별 이산화탄소 부하량을 산출하여 건축시공에 대한 종합적인 이산화탄소 부하량을 측정할 수 있다.

건축 시설의 규모와 CO<sub>2</sub> 발생량은 비례하지 않으며, 건축 구상과 계획으로 설정된 평면에 의해 변하므로 좀 더 명확한 평가를 통해 CO<sub>2</sub> 발생이 적은 친환경 농촌 공동체 건축물 계획이 요구된다.

농어촌개발사업의 내역서와 일위대가를 토대로 전과정평가를 실시하여 환경부하량을 측정하였으며, 이는 건축공사에 쓰이는 재료에 대한 LCA DB를 적용하는데 타당성을 증명하였다. 이를 바탕으로 농촌개발을 위한 인벤토리 및 데이터베이스를 구축할 필요성이 있다. 또한, 농어촌개발사업에 필요한 공사재료의 데이터베이스가 축적된다면 농어촌개발사업에서 진행되는 도로, 옹벽, 성토 등 다른 공사에서의 적용도 가능할 것으로 판단된다.

농촌공동체 건축물에 대해 LCA 분석과정에서 각 시공방법, 사용 장비의 종류, 재료의 선택에 따른 CO<sub>2</sub> 은 차이가 있을 것으로 판단되나, 본 연구에서는 설계 내역에 작성된 표준 품셈 방법에 의한 내역만을 고려하였다. 향후 개별 건축물에 대한 재료의 변화, 시공 공법 변화, 장비 선택의 변화에 따른 전과정평가는 추가적인 연구를 통해 규명될 수 있으며, 이에 대한 연구를 통해 설계의 친환경성을 모델로 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

시공내역서를 바탕으로 각 재료별 LCA DB를 구축하고, 농어촌개발사업에서 진행되는 건축 및 토목공사에서 발생하는 환경부하량의 정량적 평가를 통하여 농촌의 환경영향을 줄이는 합리적인 평가모델로 제안할 수 있다.

#### IV. 결론

본 연구는 농촌 공동체 건축물을 대상으로 전과정평가를 통해 대기오염물질 배출량 및 환경영향지수를 분석하였다. 농촌 공동체 건축물의 대기오염물질 배출량 분석에서 사용된 주요 대기오염물질 7가지는 IPCC™에서 정의하는 환경영향의 주요 대기오염물질로서, 지구온난화 유발물질인 이산화탄소와 아산화질소, 지구온난화와 광화학산화에 영향을 미치는 메탄, 산성화와 부영양화와 관련된 질소산화물, 산성화와 부영양화에 영향을 끼치는 아황산가스, 그리고 광화학산화 유발물질인 일산화탄소와 비메탄계 휘발성 유기화합물로 구성하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 농촌 공동체 건축물의 대기오염물질 배출량을 자재생산, 건설, 운영, 유지보수, 해체, 재활용 및 폐기와 관련된 운송활동이라는 일곱 가지 단계로 나누어 분석하였다. 그 결과 농촌 공동체 건축물의 연간 1 m<sup>3</sup> 당 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 16 kg, 일산화탄소 (CO) 0.04 kg, 메탄 (CH<sub>4</sub>) 0.04 kg, 질소산화물 (NO<sub>x</sub>) 0.03 kg, 아황산가스 (SO<sub>2</sub>) 0.03 kg, 비메탄계 휘발성 유기화합물 (NMVOC) 0.03 kg, 아산화질소 (N<sub>2</sub>O) 0.00011 kg를 배출하는 것으로 분석되었다.
2. 대기오염물질의 배출량에 있어서 가장 큰 부분을 차지하는 자재생산과 운영부분을 비교할 경우 일산화탄소와 비메탄계 휘발성 유기화합물을 제외했을 때 대부분의 대기오염물질이 운영부분에서 80% 이상 발생하였다.



3. 본 연구는 농촌 공동체 건물의 내역서를 기반으로 설계 사양 변화를 통한 운영에너지 비교와 대기오염물질 배출량에 대하여 정량적 방법론으로 친환경설계가 가능한 것을 증명하였다. 농촌 공동체 건축물의 주요 구조물 변경 및 재료를 취합하여 농촌 공동체 건축물의 구상에 적용하여 좀 더 환경부하가 작은 시설 계획이 가능할 것으로 판단된다.
4. 농촌 공동체 건축물의 전과정평가를 진행하기 위한 세부 자료를 취합하는데 OpenLCA™ DB를 이용하여 자재별 정규화 작업을 실시하였다. 하지만 농촌 공동체 건축물에 소요되는 모든 자재의 자료는 본 연구에서 다루지 못하였지만 내역서를 기반으로 한 건축 자재별 LCA DB가 구축된다면, 전과정평가의 정확성은 크게 개선될 것으로 사료된다.
5. 농촌마을만들기사업에 대한 건축자재별 데이터베이스를 다양화시킨다면, 지역개발사업 등으로 큰 단위의 사업에 적용할 수 있으며, 구축된 농촌마을만들기사업에서 사용되는 건축자재들에 대한 데이터베이스를 통해 충청북도 농촌의 이산화탄소 부하량을 예측하고 저감효과를 가져올 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 충북대학교 국립대학육성사업(2020)지원을 받아 작성되었음.

## REFERENCES

1. Greenhouse Gas Inventory and Research Center, 2015. National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, Ministry of Environment (in Korean).
2. Greenhouse Gas Inventory and Research Center, 2020. National Greenhouse Gas Inventory Report, Ministry of Environment (in Korean).
3. Jo, G. S., 2012. Developing a combination model of agricultural machine for optimization GHG's based on LCA, Thesis of Master Course in Chungbuk National University (in Korean).
4. Kim, S. H., 1994. A study on methodology and application of life cycle assessment, Thesis of Doctor Course in University of Seoul (in Korean).
5. Kim, W. G., 2000. A study on the environmental load and the energy retrofit for reducing the energy use in an office building, Thesis of Master Course in Kwangwoon University (in Korean).
6. Kim, Y. M., 2021. Life cycle assessment of rural community buildings using OpenLCA™ DB, Master Course in Chungbuk National University (in Korean).
7. Lee, S. S., J. W. Kim, and C. K. Lee, 2012. Effects of air pollution on the decline of *Pinus thunbergii* forest in urban industrial area, *Journal of Agriculture and Life Science* 46(3): 1-10 (in Korean).
8. Lee, Y. K., J. G. Han, and S. H. Kwon, 2018. A study on the evaluation of environmental load based on LCA using BIM - focused on the case of NATM tunnel -, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 38(3): 477-485 (in Korean). doi.org/10.12652/Ksce.2018.38.3.0477
9. Park, M. L., J. M. Choi, and J. H. Lee, 2018. A study on the analysis of energy performance for zero-energy building of rural village hall - focused on the Jung Juk 4-le village hall -, *Journal of The Korean Institute of Rural Architecture* 16(4): 1-8 (in Korean). doi.org/10.14577/kirua.2018.20.4.1
10. Yoo, J. H., and K. H. Kim, 2010. Application of LCA methodology on lettuce cropping systems in protected cultivation, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(5): 705-715 (in Korean).