

# 목조주택 온실가스 배출량 평가를 위한 간이 전과정평가 툴 개발<sup>1</sup>

장 윤 성<sup>2</sup> · 김 세 종<sup>2</sup> · 손 휘 립<sup>3</sup> · 정 순 철<sup>3</sup> · 신 현 경<sup>2</sup> · 심 국 보<sup>2,†</sup>

## Evaluation of Greenhouse Gas Emission for Wooden House Using Simplified Life Cycle Assessment Tool<sup>1</sup>

Yoon-Seong Chang<sup>2</sup> · Sejong Kim<sup>2</sup> · Whi-Lim Son<sup>3</sup> · Soon-Chul Jung<sup>3</sup> ·  
Hyun-Kyeong Shin<sup>2</sup> · Kug-Bo Shim<sup>2,†</sup>

### 요 약

본 연구에서는 목조건축 전과정평가의 접근성과 활용성을 높이고자 간이 전과정평가 툴(simplified LCA)을 개발하고 이를 검증하기 위하여 전과정평가(LCA) 상용프로그램(Simapro.7)과의 비교를 수행하였다. 전과정목록을 바탕으로 환경영향을 평가한 결과, 대상 목조주택 1동의 전과정평가 결과와 간이 전과정평가 툴의 결과는 약 1% 정도로 나타났다. 따라서, 간이 전과정평가 툴을 통한 목조건축의 온실가스 배출량 분석이 가능할 것으로 판단되며, 사용자 편의를 기반으로 사례추가를 통한 국내 목조건축 환경영향 데이터베이스 구축에 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 또한 목조건축 건설에 따른 온실가스 저감효과는 시공단계까지 온실가스 배출량의 약 53%를 상쇄하는 효과를 가지는 것으로 평가되었다. 본 연구결과는 목조주택의 친환경적 이미지 제고를 통한 목조주택 보급확대 정책을 지원할 수 있는 근거로써 입업분야 신기후체제 대응에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

### ABSTRACT

In this study, simplified LCA (life cycle assessment) tool was developed to increase accessibility and availability on LCA timber construction. The result of simplified LCA was compared with commercial program on LCA (Simapro.7) to verify its availability. As a result of evaluating environmental impacts with the Life Cycle Inventory of all processes, gap between LCA and simplified LCA tools of timber construction was about 1%. Therefore, the simplified LCA tool could analyse greenhouse gas emissions of timber construction and to expand number of data set through improved convenience of users for developing database of timber construction in Korea. The reduction effects of greenhouse gas emissions of timber construction was about 53% of total emission offset up to construction phase.

<sup>1</sup> Date Received August 7, 2017, Date Accepted September 8, 2017

<sup>2</sup> 국립산림과학원 임산공학부. Department of Forest Products, National Institute of Forest Science, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02455, Republic of Korea

<sup>3</sup> 에코네트웍(주) 지속가능성 사업본부. Econetwork, 15-3 Yeonnam-ro, Seocho-gu, Seoul 08826, Republic of Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 심국보(E-mail: kbshim@korea.kr)

The results of this study would support decision making process to expand to timber construction policy to showcase environmental friendliness of timber construction. It was expected to contribute to response to the New climate regime in forestry.

**Keywords :** wooden house, environmental quantification, life cycle assessment

## 1. 서 론

신기후체제를 맞이하여 우리나라는 2030년 국가 온실가스 배출전망(Business As Usual, BAU) 대비 37%의 온실가스 감축 목표를 확정하였으며, 산업, 건물, 농업어업 등 모든 분야에서 온실가스를 감축하기 위해 노력하고 있다. 각 분야별로 신기후체제 대응 기반을 마련하기 위하여 다방면의 연구가 추진되고 있으며, 정부에서는 제도 측면에서 온실가스·에너지 목표관리제, 배출권거래제를 운영 중에 있다. 뿐만 아니라 각 부처에서는 기후변화에 대응하기 위한 제품의 전과정 측면의 온실가스 배출량을 산정하여 전과정목록(Life Cycle Inventory, LCI) 데이터베이스를 개발하였으며, 이를 통하여 환경영향 평가방법인 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 연구를 활발하게 수행하고 있다. 특히 임업 및 임산업 분야에서는 목재제품 이용에 따른 탄소 저장 및 대체효과에 대한 친환경성을 정량적으로 산정하고 이를 활용하기 위한 기초 연구 및 정책 연구가 다양하게 수행되고 있다. 국산 목재제품 및 목조주택 보급의 활성화를 위하여 2013년부터 국산 원목 및 목재제품에 대한 전과정목록 데이터베이스를 약 20건 개발하고 전과정평가를 수행하였다(Park *et al.* (2013), Son *et al.* (2014), Kim (2015), Chang *et al.* (2016)).

한편, 유럽에서는 전과정평가를 수행하기 위하여 Ecoinvent 데이터베이스를 활용한 Simapro 프로그램이 가장 널리 사용되고 있다. 또한 프랑스에서는 Deam 데이터베이스를 활용한 Team 프로그램이 사용되고 있으며, 그 밖의 전과정평가 전문 소프트웨어로는 Gabi가 있다. 이와 같은 해외의 전과정평가 프로그램은 널리 활성화되어 있으며, 많은 전과정평가 연구자들이 이를 활용하고 있다. 미국에서는

미국 정부가 친환경적인 건축자재의 선택을 지원하기 위해 '94년 미국 NIST (National Institute of Standards and Technology)에 의뢰하여 개발한 BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability)가 건축물에 특화된 전과정평가 툴로써 널리 활용되고 있다. 이는 건축자재의 환경성뿐만 아니라 경제성을 동시에 고려할 수 있도록 고안된 기법으로 건축주 및 정부의 투자 우선순위 의사결정을 위한 지원도구 개발을 목적으로 하고 있다. 국내의 전과정평가 소프트웨어는 환경부의 Total과 산업통상자원부의 PASS가 대표적이며 모두 무료로 사용되고 있다. 소프트웨어 형식으로 사용되고 있기 때문에 전과정평가에 대한 전문적인 지식이 요구되며, 대표적으로 환경성적표지 인증 시 주로 사용되고 있다. 전과정평가 중 온실가스 배출량만 산정하는 주요 제도로는 탄소성적표시제도, 저탄소 농축산물 인증제도가 있으며 모두 별도의 엑셀 툴이 개발되어 활용되고 있다. 건축물 분야에서는 SUSB-LCA, LOCAS, Carbon Expert, BEGAS 2.0 등이 전과정평가 툴로써 활용되고 있다.

국내에서 목조주택의 전과정평가 수행 시, 국내의 Total, Pass, 해외의 Simapro가 주로 활용되고 있으나, 임업 및 건축물에 특화되어 있지 않고 일정 수준 이상의 기술이 요구되고 있기 때문에 지속적인 전과정평가 수행을 통한 기후변화 대응 기반자료 구축이 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 목조주택의 전과정평가의 접근성 및 활용성을 높이고자 국내 목조주택에 특화되고 사용자 중심의 간이 전과정평가 툴(simplified LCA)을 개발하고, 전과정평가(LCA) 툴(Simapro.7)과의 비교를 통한 타당성을 검증하고자 하였다.

**Table 1.** Results of investigation on LCA tool

No.	Name	Type	Country	Range	Aim	Impact	Output
1	PASS	program	Korea (MOTIE*)	product, service	system (EPD****)	CML2002, 2004, Type III 2007	value/diagram
2	TOTAL	program	Korea (ME**)	product, service	system (EPD)	CML2002, 2004, Type III 2007	value/diagram
3	Agricultural products GHG emission tool	excel	Korea (MAFRA***)	agricultural product	system (LCAPC*****)	Global Warming Potential (GWP)	value
4	COOL	excel	Korea (ME**)	product, service	system (EPD)	GWP	value
5	TEAM	program	World (France)	product, service	research (Vehicle, equipment)	eight impact categories	value/diagram
6	GaBi	program	World (Germany)	product, service	research (Vehicle, equipment)	ten impact categories	value/diagram
7	SimaPro	program	World (Netheraland)	product, service	research (all)	CML, Eco-indicator99, EDIP 2003, 2007, IMPACT 2002+	value/diagram
8	Athena	program	North America	Buildings	research (structure)	six impact categories	value/diagram

\*Ministry of Trade, Industry and Energy, \*\*Ministry of Environment, \*\*\*Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs  
\*\*\*\*Environmental Product Declaration, \*\*\*\*\*low carbon agricultural product certification

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 국내 · 외 전과정평가 툴 사례분석

국내 목조주택에 특화된 간이 전과정평가 툴을 개발하기 위하여 국내 · 외 전과정평가 전문 프로그램 및 엑셀기반 툴을 분석하였다(Table 1). 북미, 유럽 및 우리나라의 전과정평가 툴을 분석한 결과, 일반적으로 엑셀 기반의 전과정평가 툴은 결과표현을 수치로만 나타내고 있으며, 프로그램 기반의 경우에는 수치와 기여도, 그래프와 생키(Sankey) 다이어그램까지 표현이 가능하다. 국내 전과정평가 툴은 모두 탄소성적표지와 환경성적표지, 저탄소 농 · 축산물 인증제도와 같이 관련 제도 운영을 통해 활용되며, 해외는 주로 연구 목적으로 활용되고 있다. 전과정평가 수행 시 고려 가능한 환경영향범주는 프로그램 기반의 경우 6대 또는 10대까지 모든 환경영향범주에 대하여 결과 산출이 가능하였으며, 엑셀 기반의

경우 지구온난화(Global Warming Potential, GWP)에 초점을 맞추어 온실가스 배출 정보만 다루고 있다. 따라서 프로그램 기반은 상대적으로 구동이 무겁고 사용이 어려운 반면, 엑셀 기반은 가볍고 사용자가 작성이 용이한 장점을 가지고 있다.

### 2.2. 간이평가 툴 개발

위와 같은 분석결과를 바탕으로 본 연구에서는 엑셀을 기반으로 국내 목조주택에 특화된 간이 전과정평가 툴을 개발하였다. 전과정평가 수행에 반드시 필요한 주요 인자 및 방법을 최대한 반영하여 전과정평가 수준의 환경영향 결과를 도출하고자 하였다. 이를 위하여 영향범주를 지구온난화로 한정하고 주재료인 목재의 특성을 반영하기 위하여 탄소저장효과와 다른 건축물과의 비교를 통한 대체효과를 산정하도록 하였다. 온실가스 배출량을 산정하기 위해 건축분야에 적용 가능한 온실가스 배출계수 및 국가

## [INPUT INFORMATION of Extraction & Manufacturing]

- Selected to Work, Classification, Name, Unit and Input Value  
- Converted to unit with conversion factor(density)

Work	Classification	Name	Unit	Value	Factor	Unit	Value	Unit	Unit(LCA)
Foundation	Wood	Structural lumber	m <sup>3</sup>	6.19	-	-	6.19E+00	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Foundation	Metal	Electric steel deformed bars	kg	1300.00	-	-	1.30E+03	kg	kg
Foundation	Concrete	Ready mixed concrete 25-210-12	m <sup>3</sup>	140.00	-	-	1.40E+02	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Foundation	Plastic	Low-density polyethylene	kg	160.00	-	-	1.60E+02	kg	kg
Foundation	Metal	SPCC, at plant, plate/RER(EGI)	kg	520.00	-	-	5.20E+02	kg	kg

## [Result of Life Cycle Assessment]

### Result of LCA

- Stage of LCA

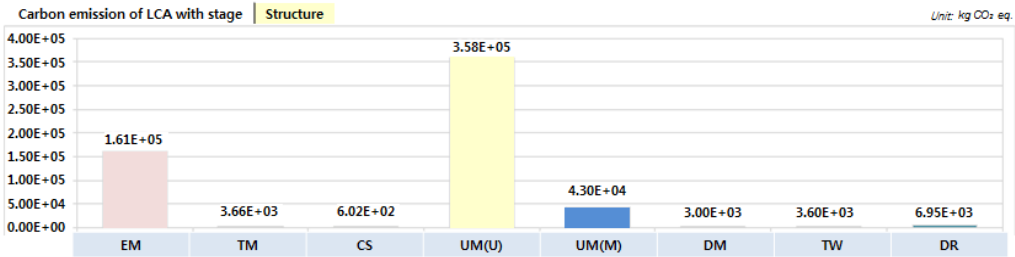


Fig. 1. Excel sheet of simplified life cycle assessment tool.

LCI DB (database)를 조사하였으며 총 152건의 데이터를 확보하였다. 입력의 편의성을 위하여 원료채취 및 제조단계를 제외한 운송, 시공, 사용단계는 직접 입력 또는 기본값을 선택 및 적용할 수 있도록 간소화하였으며, 유지보수, 해체, 폐기단계는 기본값만을 적용하도록 하였다.

### 2.3. 전과정평가

본 연구에서는 국제표준화기구(ISO, International Organization for Standardization) ISO 14040 (ISO 2006) 및 ISO 14044 (ISO 2006)에 의거한 전과정평가 기법을 적용하여 국내 목조주택을 대상으로 원료채취부터 폐기 시까지 전과정에 걸친 환경영향을 정량화하였다. 전과정평가는 제품 및 시스템의 원료채취, 제조 전, 제조, 유통, 사용, 폐기 및 재활용을 포함한 전과정에 걸쳐

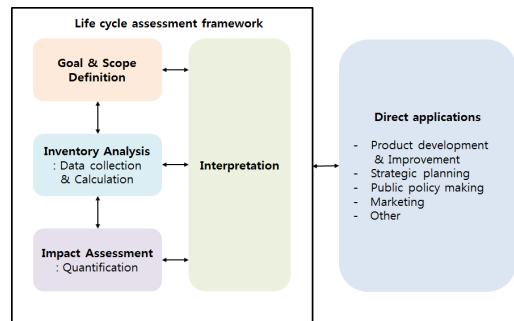


Fig. 2. A scheme of life cycle assessment (ISO 14040).

서 소모되는 자원과 발생하는 배출물의 양을 정량화하여, 이들이 잠재적으로 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 환경영향 평가기법이다. 주요 수행 단계는 위 그림(Fig. 2)과 같이 1) 목적 및 범위정의, 2) 목록분석, 3) 영향평가, 4) 해석 등 총 4단계로 구성되어 있다.



Fig. 3. System boundary of wooden house for the quantification of carbon dioxide emission.

간이 전과정평가 톨의 타당성을 검증하기 위하여 건축, 수송, 에너지, 농업 등 광범위한 분야에서 신뢰도 높은 1만 건 이상의 LCI DB (ecoinvent)를 이용하는 전과정평가(LCA) 상용프로그램(Simapro.7)과의 비교를 수행하였다. 평가대상은 서울 소재(서울시 동대문구 회기로 57 국립산림과학원)의 중목구조 형식의 목조주택 1동을 선정하였다. 대상 주택의 외부 마감은 낙엽송 및 소나무 사이딩과 스티코로 구성되어 있으며, 데크는 리기다소나무 및 WPC (Wood Plastic Composite), 지붕 마감은 컬러강판, 내부 마감은 루바, 벽지로 구성되었다. 그 밖의 기초공사, 골조공사, 창호공사 등 일반 주택과 동일한 콘크리트, 철골, 유리 등이 투입되었다. 대상 주택은 6개의 방을 포함하고 있는 2층 구조이며, 건축면적은 128.67 m<sup>2</sup>, 연면적은 235.73 m<sup>2</sup>이다.

목조주택의 시스템 경계는 투입 건설자재의 원료 채취 및 제조단계에서부터 자재 운송, 현장 시공, 수명(50년)간 전기 및 에너지 사용, 유지보수, 해체, 건설폐기물 운송, 건설폐기물 폐기처리 단계를 포함하는 요람에서 무덤까지(Cradle to Grave)로 정의하였다(Fig. 3).

### 2.3.1. 원료채취 및 제조단계(Extraction & Manufacturing, EM)

원료채취 및 제조단계에서는 투입 건설자재들의 원료를 채취하고 제품으로 제조하는 단계를 칭한다. 국내 목조주택의 주요 건설자재로는 제재목, 집성재, 콘크리트, 철근, 유리, 타일, 플라스틱류 등이 있으며 각 건설자재들의 상위흐름(Upstream)에 대한 환경부하를 모두 포함하였다.

### 2.3.2. 수송단계(Transport (Material), TM)

제품으로 생산된 건설자재들은 각 생산공장으로부터 대상 목조주택 설치 지역까지 운송과정 중에 소

모되는 연료 사용량을 통하여 직접 및 간접배출을 포함한 환경영향을 산정하였다. 각 자재별로 운송 거리(km)와 중량(ton) 정보를 수집하여, 최종적으로 tkm를 도출하였다. 운송중량은 대상 목조주택 일위대가 내 모든 건설자재 정보를 토대로 단위환산을 수행하여 산정하였다.

### 2.3.3. 시공단계(Construction, CS)

대상 목조주택의 시공단계에서는 다양한 시공 장비들을 사용하며, 대표적으로 터파기, 되메우기, 정지작업, 잡석다짐 등에 투입되는 굴삭기, 크레인 등이 있다. 본 단계에서는 장비가동에 필요한 에너지인 화석연료 사용을 통하여 직접 및 간접배출에 따른 온실가스 배출량을 산정하였다. 화석연료는 생산과정에서의 간접배출뿐만 아니라 연소로 인한 대기 중으로의 온실가스 직접배출이 발생한다. 따라서 화석연료의 연소에 의한 온실가스 직접배출량을 계산해야한다(ME, 2009). 이를 위해 필요한 계수는 Table 2와 같다.

#### 화석연료 연소 온실가스 배출량(kg CO<sub>2</sub> eq.) =

$$\begin{aligned}
 & [\text{화석연료 사용량(L or Nm}^3) \times \text{순발열량(MJ/L or Nm}^3) \times \text{CO}_2 \text{ 배출계수(kgCO}_2\text{/TJ)} \div 10^6 \times \text{GWP (1)}] \\
 & + [\text{화석연료 사용량(L or Nm}^3) \times \text{순발열량(MJ/L or Nm}^3) \times \text{CH}_4 \text{ 배출계수(kgCH}_4\text{/TJ)} \div 10^6 \times \text{GWP (21)}] \\
 & + [\text{화석연료 사용량(L or Nm}^3) \times \text{순발열량(MJ/L or Nm}^3) \times \text{N}_2\text{O 배출계수(kgN}_2\text{O/TJ)} \div 10^6 \times \text{GWP (310)}]
 \end{aligned}$$

### 2.3.4. 사용단계(Use & Maintenance, UM)

본 연구에서는 대상 주택의 수명을 50년으로 가정하였으며, 수명 간 사용하는 에너지는 전기와 도시가스(LNG)만 고려하였다. 뿐만 아니라 유지보수 계획(주택법 시행규칙(2015))을 반영하여 주기별로 투입되는 자원들의 원료채취, 수송, 사용 후 폐기운송, 폐

**Table 2.** Carbon emission factor at fossil fuel combustion

Category	Net heating value <sup>1)</sup>		Specific gravity <sup>2)</sup>		Emission factor <sup>3)</sup>			
	value	unit	value	unit	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	unit
Light fuel oil	35.3	MJ/L	0.825	kg/L	74,100	3	0.6	kg GHG /TJ
<b>LNG</b>	39.4	MJ/Nm <sup>3</sup>	0.811	kg/m <sup>3</sup>	56,100	1	0.1	
<b>LPG</b>	46.3	MJ/Nm <sup>3</sup>	0.508	kg/m <sup>3</sup>	63,100	1	0.1	

1) Implementing regulations in energy law, Ministry of Trade, Industry & Energy, 2015

2) Application manual of energy-calory conversion standard, Korea Energy Agency, 2006

3) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, 2006  
(CO<sub>2</sub> = 1 kg CO<sub>2</sub> eq., CH<sub>4</sub> = 21 kg CO<sub>2</sub> eq., N<sub>2</sub>O = 310 kg CO<sub>2</sub> eq.)

기처리를 모두 고려하였다.

### 2.3.5. 해체단계(Dismantlement, DM)

해체 장비들의 연료 사용으로 인하여 연료의 제조단계에서의 환경부하(Upstream)에 따른 간접배출과 해체 현장에서 장비들의 화석연료 직접연소로 인한 온실가스 배출량을 함께 포함하도록 하였다. 대표적인 해체 장비로는 압쇄기, 브레이커, 백호가 있으며 이는 모두 콘크리트 파쇄에 적용된다. 또한 철골류 절단을 위한 LPG 사용량을 함께 포함하여 산정하였다.

### 2.3.6. 폐기물 운송단계(Transport (Waste), TW)

해체단계를 거쳐 발생하는 건설폐기물은 모두 중간처리 업체로 1차 운송된다. 해당 단계에서 재활용/소각/매립으로 분리·선별되며 최종적으로 처리되는 소각, 매립 대상 건설폐기물은 지자체에서 운영하는 소각장 또는 매립장으로 운송되는 것을 고려하였다.

### 2.3.7. 폐기물 처리단계(Disposal & Recycling, DR)

발생하는 건설폐기물은 모두 환경부의 ‘전국폐기물발생 및 처리현황(2015)’에 따라 건설폐기물 종류별 처리량을 기준으로 모두 재활용, 소각, 매립으로 분류된다고 보고 각각의 비율을 적용하였다.

### 2.3.8. 가정 및 제한사항

공사단계 중 가설공사, 가구 및 기기공사, 설비공사, 전기공사에 투입되는 자원은 시스템 경계에서 제외하였으며, 건설자재는 모두 15 ton 트럭을 통해

운송된다고 가정하였다. 화석연료 연소로 인한 대기 배출물은 주요 온실가스인 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O만 고려하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 간이 전과정평가 틀에 의한 목조주택 환경영향 평가

원료채취단계부터 폐기단계까지 포함된 목조주택 건설에 따른 전과정 목록(LCI)은 Table 3과 같다. 수집된 데이터는 국내 및 해외 LCI 데이터베이스와 연결하여 온실가스 배출량을 정량화하였다.

전과정목록을 바탕으로 온실가스 배출량을 평가한 결과(Table 4), 대상 목조주택 1동의 Full LCA 결과(Kim *et al.*, 2016)와 간이 LCA 틀 결과는 약 1% 정도의 차이를 보이고 있다. 동일한 데이터를 사용했으나 해체 단계의 온실가스 배출량의 차이는 13% 정도 발생하였다. 해체 단계는 철골류 절단과 콘크리트 파쇄 시 사용되는 장비에서 사용하는 화석연료 사용량만으로 온실가스 배출량을 산정하고, 산정방법은 LCA와 간이 LCA 틀 모두 동일하지만, LCA 수행 시에는 철골 및 콘크리트 중에서도 해체 대상 자재를 추려서 적용하였으며, 간이 LCA 틀에서는 사용자간 입력 수준이 모두 상이할 것으로 예상하였기 때문에 건설에 사용된 모든 철골 및 콘크리트를 해체 대상으로 적용하였다. 이와 같은 사유로 해체 단계의 온실가스 배출량 차이가 발생하였다. 그러나 총 결과의 차이는 1% 미만으로 간이 LCA 틀을 통한

**Table 3.** Life cycle inventory of wooden house

Work	Name	Unit	Value	LCI DB	Reference	Emission (kgCO <sub>2</sub> eq.)
F o u n d a t i o n	Sight rail	m <sup>3</sup>	6.19	Structural lumber	NIFoS	178
	Steel bar	ton	13.0	Electric steel deformed bars		437
	Concrete	m <sup>3</sup>	140.0	Ready mixed concrete 25-210-12	MOTIE	409
	PE film	ton	0.16	Low-density polyethylene		1,860
EM	Anchor bolt	ton	0.52	SPCC, at plant, plate/RER(EGI)	Ecoinvent	707
	Lumber		47.88			
S t r u c t u r e	Plate		12.26			
	I-joist	m <sup>3</sup>	4.77	Structural lumber	NIFoS	178
	Rafter		5.59			
	Louver		0.96	Wooden interior/exterior material		187
	Plywood		44.29	Plywood, outdoor use, at plant/RER U	Ecoinvent	552
	Sill Sealer		0.03			
	Glue		0.012	Polyurethane	MOTIE	2,390
	Nail	ton	0.0001	SPCC, at plant, plate/RER(EGI)	Ecoinvent	707
	Resilient channel		0.001			
	Sheating dip		0.005	carbon steel	ME	2,340
I n t e r i o r	Waterproof agent		1.72	Polyurethane		2,390
	Fiber Glass		0.3	Glass wool		190
	Rafter mate		0.002	General Purpose Polystyrene	MOTIE	2,080
	Insulation		0.66	Expandable Polystyrene		1,950
	Wire mesh		0.45	Electric steel deformed bars		437
	Gypsum board		17.35	Gypsum board		138
	Colored sheet	ton	0.44	Aluminum strip	MOTIE	1,840
	Eaves flashing		0.25	Aluminum extrusion	MOTIE	15,700
	Mortar		20.37			
	Cement board		1.74	Cement		1,060
	Steel plate		1.15	Steel plates	ME	855
	Glass		3.12	Plate glass		789
	Floor drain		0.001	Stainless steel		3,190
	Tread board		0.88	Structural glued-laminated timber		234
Louver	m <sup>3</sup>	0.55	Wooden interior/exterior material	NIFoS	187	
Porch		1.66				
Moulding	m <sup>3</sup>	1.83	Medium density fibreboard, at plant/RER U	Ecoinvent	446	
Handrail		0.7				
Channel		0.06	SPCC, at plant, plate/RER (EGI)		707	
Tile	ton	1.5	Ceramic tiles, at regional storage/CH U	Ecoinvent	668	
Sand		5.6	Sand, at mine/CH U		1.86	
Silicon		0.19	Silicone product, at plant/RER U		2,360	
Roofing		0.9	Mastic asphalt, at plant/CH U		185	

목조주택 온실가스 배출량 평가를 위한 간이 전과정평가 틀 개발

Table 3. To be Continued

Work	Name	Unit	Value	LCI DB	Reference	Emission (kgCO <sub>2</sub> eq.)
E x t e r i o r	Siding	m <sup>3</sup>	3.68	Wooden interior/exterior material	NIFoS	187
	Lumber		0.65			
	Column	m <sup>3</sup>	3.76	Structural lumber	NIFoS	178
	Joist		0.13			
	Floor slab		3.16	Wooden interior/exterior material		187
	Board	ton	2.06	Gypsum board		138
	Flashing		0.53	Aluminum extrusion	MOTIE	15,700
	Concrete	m <sup>3</sup>	7.96	Ready mixed concrete 25-210-12		409
	Window	ton	0.13	Plate glass	ME	789
	Oil stain	ton	0.02	Alkydenamel type paint	ME	226
	Handrail	ton	0.004	SPCC, at plant, plate/RER (EGI)	Ecoinvent	707
TM	Road	tkm	13,986.9	15.1-18 ton truck	ME	0.0643
CS	Light fuel oil	ton	0.2	Light fuel oil	MOTIE	68.2
UM	Natural gas	ton	141.2	Natural gas	ME	526
	Electricity	kWh	247,470	Electricity	MOTIE	0.495
DM	Light fuel oil	ton	0.75	Light fuel oil	MOTIE	68.2
	LPG		0.03	Liquefied petroleum gas		394
TW	Intermediate site		13,403.2			
	Incineration (IN)	tkm	17.8	15.1-18 ton truck	ME	0.0643
	Landfill (LF)		189.4			
R e c y c l e	Metal (Recycle)		21.32	Recycling ECCS steel B250/korea	Ecoinvent	435
	Concrete		383.93	Waste concrete recycling		1.64
	Glass		2.80	Recycling glass B250	MOTIE	-376
	Plastic		1.3	Waste plastic recycling		-967
	Wood		57.77	Waste wood recycling	ME	13.6
DR	Concrete	ton	5.89	Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	Ecoinvent	2.4
LF	Glass		0.75	Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH S		6.2
	Plastic		0.001	Mixed Plastics Landfill	MOTIE	0.9
	Plastic		1.48	Waste Plastics Incineration	MOTIE	2,810
IN	Wood		3.24	Disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration/CH S	Ecoinvent	11.1
	Etc.		0.04	General waste incineration	ME	123

목조주택 건설 시 발생하는 온실가스 배출량 분석결과  
과의 신뢰성을 확보함과 동시에 사용자의 편의를 도

모하여 전과정평가 수행 효율성을 제고할 수 있을  
것으로 판단된다.



**Table 4.** Comparison of carbon dioxide emission between full LCA and simplified LCA

Stage	Carbon dioxide emission (tCO <sub>2eq.</sub> ) (Full LCA)	Carbon dioxide emission (tCO <sub>2eq.</sub> ) (Simplified LCA)	GAP between full LCA and simplified LCA
EM	162.3	160.8	1%
TM	0.9	0.9	2%
CS	0.6	0.6	1%
UM (U)	749.9	759.7	1%
UM (M)	78.2	78.2	2%
DM	2.5	2.9	13%
TW	0.9	0.9	1%
DR	7.0	7.0	2%
<b>Total</b>	<b>1,002.3</b>	<b>1,011.0</b>	<b>0.9%</b>

**Table 5.** Carbon factor to estimate carbon storage effect of HWP

	Sawnwood	Plywood	Fiberboard	Particleboard
Density (ton/m <sup>3</sup> )	0.458	0.542	0.691	0.596
Carbon fraction	0.500	0.493	0.427	0.451
100-year average storage factor	0.47	0.49		0.387

### 3.2. 저장 및 대체효과

투입된 목재제품의 제품별 기본밀도, 탄소함량비, 이산화탄소 전환계수(44/12), 평균 탄소저장률을 이용하여 목조주택의 탄소저장효과를 산정하였다. 제품별 기본밀도와 탄소 함량비는 UNFCCC(2014)의 계수값을 적용하였으며, 100년간 평균 탄소저장률은 산림청 ‘사회공헌형 산림탄소 사업설계 가이드라인 (2013)’에 있는 탄소저장률을 적용하였다(Table 5). 분석결과, 대상 주택은 수명 50년간 목재제품 137.69 m<sup>3</sup> 내에 총 29.2톤의 온실가스를 저장하는 것으로 나타났다. 이는 시공단계의 온실가스 배출량인 162톤의 18%에 해당한다.

$$(\text{Carbon storage effect}) = (\text{volume}) \times (\text{density}) \times (\text{carbon fraction}) \times 44/12^* \dots\dots\dots (1)$$

\* carbon dioxide molecular weight/carbon molecular weight

대체효과는 한국건설기술연구원에서 연구한 ‘한옥 환경성평가 및 한옥건축 활성화 추진방안 연구 (2010)’의 콘크리트조 주택에서 발생한 온실가스 배

출량을 적용하였다. 거주형태와 생활패턴에 따라 사용단계는 상이하므로 이후의 과정은 배제하고 원료 채취부터 시공단계까지로 한정하여 온실가스 배출량을 비교하였다(Table 6).

대상 목조주택과 콘크리트조 주택을 동일면적 (235.73 m<sup>3</sup>)으로 환산하여 온실가스 배출량을 비교하면, 목조주택 건설 시 콘크리트조 주택에 비해 온실가스를 56.8톤(35%)만큼 적게 배출하는 것으로 나타났다. 콘크리트조 주택의 주요자재인 콘크리트 (409 kgCO<sub>2eq.</sub>/m<sup>3</sup>)가 목조주택의 주요자재인 구조용 제재목(178 kgCO<sub>2eq.</sub>/m<sup>3</sup>)에 비해 생산단계에서 온실가스를 많이 배출하기 때문이다. 이는 시공단계까지의 온실가스 배출량인 162톤의 35%에 해당한다. 따라서, 목조주택 건설에 따른 온실가스 저감효과는 저장 29톤, 대체 57톤, 총 86톤으로 시공단계까지 온실가스 배출량의 약 53%를 상쇄하는 효과를 가지는 것으로 평가되었다. 현재 대체효과는 IPCC에서 구체적인 방법론을 제시하고 있지 않지만, 캐나다(Smyth *et al.* 2017)에서는 목재제품 이용에 따른 온실가스 다배출 재료를 대체하는 효과를 displacement factor

**Table 6.** Comparison of carbon dioxide emission between concrete house and wooden house

Stage	Carbon dioxide emission (tCO <sub>2eq.</sub> ) (Concrete)	Carbon dioxide emission (tCO <sub>2eq.</sub> ) (Wooden)	GAP between Concrete and Wooden building LCA
EM	200.0	160.8	24%
TM	18.3	0.9	1,933%
CS	0.8	0.6	33%
Total	219.1	162.3	35%

로 정의하고 방법론을 구축하여 자국의 산림탄소모텔에 활용하고 있으므로 우리나라 또한 목재제품 대체효과에 대한 통합적·심층적인 방법론을 구축할 필요가 있다고 판단된다.

#### 4. 결 론

건축물의 전과정평가는 일반적인 전과정평가에 비하여 수집해야 하는 데이터의 양이 방대하기 때문에 계산 절차가 복잡하고 까다로운 단점이 있다. 특히 사용단계, 해체단계, 운송 및 폐기처리 단계는 실제 데이터의 확보가 어렵기 때문에 타당한 시나리오를 선정해야 한다. 이와 같이 건축물의 전과정평가 수행 시, 많은 시간과 노력, 비용이 소요되며 연구 수행자의 기준에 따라 연구의 결과가 달라질 수 있다. 본 연구의 결과인 간이 LCA 틀은 복잡한 주택의 전과정평가 수행 절차를 간소화함으로써 전과정평가 수행 용이성을 향상시켰으며, 이를 통하여 연구 수행을 위한 시간과 비용, 노력을 저감할 수 있고, 기존 전과정평가와 동일 수준의 연구 결과를 도출하여 동등한 비교를 가능하게 하였다. 향후 국내 목조주택의 전과정평가 수행을 통해 축적된 연구 결과는 목조주택 건설에 따른 온실가스 감축량 평가 시 기초자료로 활용 가능하며, 이를 통한 목조주택의 친환경적 이미지 제고로 목조주택 지원정책 및 타 제도와의 연계 시 활용 등 다양한 정책 의사결정을 지원할 수 있는 근거로써 입법분야 신기후체제 대응에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 사 사

본 연구는 2016년도 국립산림과학원 석·박사연구원의 지원에 의해 이루어진 것임.

#### REFERENCES

- Chang, Y.S., Kim, S.J., Son, W.L., Lee, S.J., Shim, K.B., Yeo, H, Kim, K.M. 2016. Assessment of Carbon Emission for Quantification of Environmental Load on Structural Glued Laminated Timber in Korea. *Journal of Korean Wood Science and Technology*. 44(3): 449-456.
- Ecoinvent. <http://www.ecoinvent.org/database/database.html>.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC. 2014. 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol.
- ISO. 2006. International Standard Organization: ISO 14040 Environmental management -Life cycle assessment -Principles and framework.
- ISO. 2006. International Standard Organization: ISO14044 Environmental management -Life cycle assessment -Requirements and guidelines.
- Kim, J.D. 2015. Estimation and reduction strategies of carbon emissions from manufacture of wood landscape facilities. Master thesis. Kangwon National University.
- Kim, S.J., Chang, Y.S., Shim, K.B., Son, W.L. 2016.

- Environmental impact assessment and economic analysis of post-beam wooden house with domestic wood products.
- Korea Energy Agency. 2006. Application manual of energy-calory conversion standard.
- Korea Environmental Industry & Technology Institute. <http://www.edp.or.kr/>.
- Korea Forest Service. 2013. Guideline of social contribution-type forest carbon project design.
- Ministry of Environment. 2015. Generation and treatment of national waste.
- Ministry of Trade, Industry & Energy. 2010. A study on environment assessment and activation plan for Han-Ok.
- Ministry of Trade, Industry & Energy. 2015. Implementing regulations in energy law.
- Ministry of Trade, Industry & Energy. 2015. Implementing regulations in house law.
- Park, J.S., Son, W.L., Park, M.J., Lee, S.J., Kang, K.S., Han, K.J., Lee, J.H. 2013. Estimation of greenhouse gas emissions of korean major timbers using life cycle assessment.
- Smyth, C., Rampley, G., Lemprier C.T., Schwab, O., Kurz A.W. 2017. Estimating product and energy substitution benefits in national-scale mitigation analyses for Canada, *GCB Bioenergy* 9: 1071-1084.
- Son, W.L., Park, J.S., Kim, K.M. 2014. Life cycle assessment of timber arch-truss bridge by using domestic *Pinus rigida* glued-laminated timber. *Journal of Korean Wood Science and Technology* 42(1): 1-12.