

# 국산 구조용 집성재의 환경부하 정량화를 위한 온실가스 배출량 분석<sup>1</sup>

장 윤 성<sup>2</sup> · 김 세 종<sup>2</sup> · 손 휘 립<sup>3</sup> · 이 상 준<sup>2</sup> · 심 국 보<sup>2</sup> · 여 환 명<sup>4,5</sup> · 김 광 모<sup>2,†</sup>

## Assessment of Carbon Emission for Quantification of Environmental Load on Structural Glued Laminated Timber in Korea<sup>1</sup>

Yoon-Seong Chang<sup>2</sup> · Sejong Kim<sup>2</sup> · Whi-Lim Son<sup>3</sup> · Sang-Joon Lee<sup>2</sup> ·  
Kug-Bo Shim<sup>2</sup> · Hwanmyeong Yeo<sup>4,5</sup> · Kwang-Mo Kim<sup>2,†</sup>

### 요 약

본 연구의 목적은 국산 구조용 집성재를 대상으로, 제조과정의 탄소배출을 정량화하고 탄소배출 저감방안을 제시하는 것이다. 총 2개소의 구조용 집성재 제조업체를 대상으로 원료, 수송, 제조 공정, 제조에 의한 에너지소비량 등을 현장 실사하였다. 현장에서 수집한 자료 및 구축된 전과정목록과 같은 관련문헌을 토대로 단위부피당 탄소배출을 정량화하였다. 국산 구조용 집성재의 제재 및 건조, 집성 공정별 온실가스 배출결과는 각각 31.0, 109.0, 94.2 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>3</sup>으로 나타났다. 수입 구조용 집성재와 비교하였을 때 약 13% 온실가스를 적게 배출하는 것으로 나타났다. 또한 기존의 건조 에너지를 바이오매스로 전환시에는 기존 대비 37%의 온실가스를 감축하여 친환경성을 제고할 수 있을 것으로 판단되었다. 본 결과는 향후 목조주택의 환경성을 규명하기 위한 전과정평가 수행 시, 투입된 목재제품의 전과정목록분석을 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

### ABSTRACT

This study was aimed to quantify the amount of carbon dioxide emissions and to suggest suitable plans which consider the carbon emission reduction in the manufacturing process of the domestic structural glued laminated timber. Field investigation on two glued laminated timber manufacturers was conducted to find out material flow input values

<sup>1</sup> Date Received February 4, 2016, Date Accepted March 14, 2016

<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> 에코네트워크(주). Econetwork, 15-3 Yeonnam-ro, Seocho-gu, Seoul, 08826, Republic of Korea

<sup>4</sup> 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부. Department of Forest Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 08826, Republic of Korea

<sup>5</sup> 서울대학교 농업생명과학연구원. Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 08826, Republic of Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 김광모(e-mail: lovewood@korea.kr)

such as raw materials, transportation, manufacturing process, and energy consumption during manufacturing process. Based on the collected data and the relevant literatures about life cycle inventory (LCI), the amount of carbon dioxide emission per unit volume was quantified. Results show that the carbon dioxide emissions for sawing, drying and laminating process are 31.0, 109.0, 94.2 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>3</sup>, respectively. These results show 13% lesser amount of total carbon dioxide emissions compared with the imported glued laminated timber in Korea. Furthermore, it was decreased about 37% when the fossil fuel would be replaced with biomass fuel in drying process. Findings from this study is effectively used as the basic data on the life cycle assessment of wooden building.

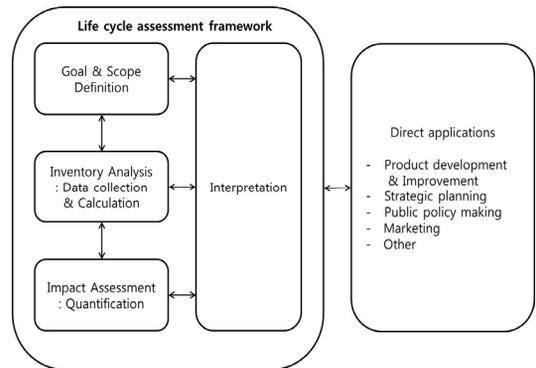
**Keywords :** carbon emission, environmental quantification, glued laminated timber, life cycle inventory

## 1. 서 론

급격한 산업화에 따른 온실가스의 배출로 전 세계는 지구온난화에 따른 가뭄, 홍수 등과 같은 기후변화를 겪고 있다. 이에 대응하기 위하여, 정부와 산업계는 다방면으로 온실가스를 감축하기 위한 노력을 기울이고 있다. 특히, 산림의 경우, 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 지정한 유일한 탄소 흡수원으로 기후변화가 문제인 현 시대에 산림 및 목재의 중요성이 더욱 더 부각되고 있다.

목재는 타 재료에 비해 가공 시 투입되는 에너지와 배출되는 온실가스 양이 적어 환경부하가 적은 재료로 각광받고 있다. 이러한 목재의 친환경성을 정량적으로 평가하고 타 재료와의 비교를 통해 대체효과를 정립하기 위한 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)가 요구된다. 전과정평가란 시스템 전과정에 걸친 투입물과 산출물의 목록을 취합하여 작성하고, 이러한 투입물 및 산출물과 관련된 잠재적 환경영향들을 평가하며, 위의 두 과정을 통해 얻은 결과를 해석함으로써, 제품의 환경적 영향을 평가하는 기술로 Fig. 1과 같은 단계로 수행된다(ISO 14040).

전과정평가를 수행하기 위한 기초 자료인 전과정 목록(Life Cycle Inventory, LCI) 데이터베이스는 국내를 기준으로 ‘물질 및 부품제조’, ‘가공공정’, ‘수송’, ‘사용’, ‘폐기’부분별로 전체 약 420여 개로 구축되어 있다. 그러나 목재산업에 대한 데이터베이스는 ‘파티클보드’, ‘우드칩’, ‘폐목재 재활용’ 등 그 수가 10개 미만으로 미미한 실정이다. 또한 국내 전과



**Fig. 1.** A diagram of life cycle assessment framework (ISO 14040).

정평가관련 연구는 1990년대 이후 지속적으로 건축, 농업, 식품 등의 분야에서 수행되어 왔으나, 목재 분야의 전과정평가는 KICT (2008), Cha (2009), Kang (2010), Park *et al.* (2013), Son *et al.* (2014), Kim (2015) 등 목조건축물 건설 및 투입되는 제재목, 합판 등에 한정하여 제품 생산 시 에너지소비 및 환경영향평가만이 수행되었다. 따라서 목재제품의 친환경적 우수성을 입증하기 위해서는 보다 많은 목재제품에 대한 전과정목록 작성 및 정량적인 환경부하 자료의 축적이 필요하다.

또한, 우리나라 목조건축의 흐름이 초기 경골목구조에서 점차 중목구조로 전환되고 있어 단면이 크고 길이가 긴 목재제품을 필요로 하고 있다. 구조용 집성재는 강도성능이 우수하고 모양이나 크기의 제한 없이 제조가 가능하여 목조건축분야에 널리 이용되고 있다. 본 연구에서는 목조건축물에 기둥 또는 보의 형태로 다양하게 이용되는 국산 구조용 집성재를

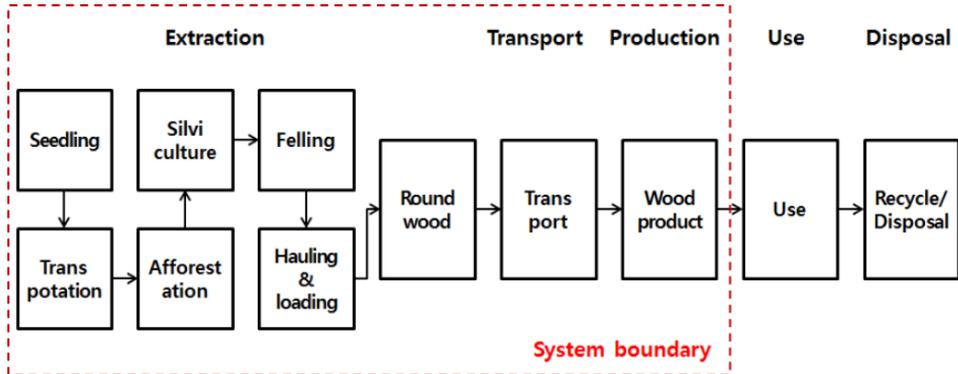


Fig. 2. System boundary of wood products for the quantification of carbon dioxide emission.

대상으로 전과정 목록을 작성하고, 원료채취부터 제품생산까지 발생하는 이산화탄소 배출량 등 환경영향을 정량화하고자 하였다. 또한 기 구축된 해외 구조용 집성재 LCI DB와 비교분석하여 국내 구조용 집성재 제조공정의 온실가스 저감방안을 도출하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 목적 및 범위 정의

본 연구에서는 국산 구조용 집성재를 대상으로 전과정 목록분석을 수행하여 생산단계까지 발생하는 투입물 및 산출물 목록을 작성하고, 이후 온실가스 배출량을 포함한 환경영향을 평가하였다. 기능단위 및 기준흐름을 구조용 집성재 1 m<sup>3</sup> 생산으로 선정하였으며, 시스템 경계는 원료물질을 채취하는 단계에서부터 원료물질의 수송, 목재제품 제조까지의 과정을 포함하는 Cradle to Gate로 정의하였다(Fig. 2).

### 2.2. 전과정 목록분석

분석대상은 국내 구조용 집성재 생산공장을 대상으로 현장여건 검토 및 사전협의를 통해 2개 공장을 선정하였으며, 자료는 2014년을 기준으로 수집하였다. 2개 공장에서 2014년에 생산된 구조용 집성재는

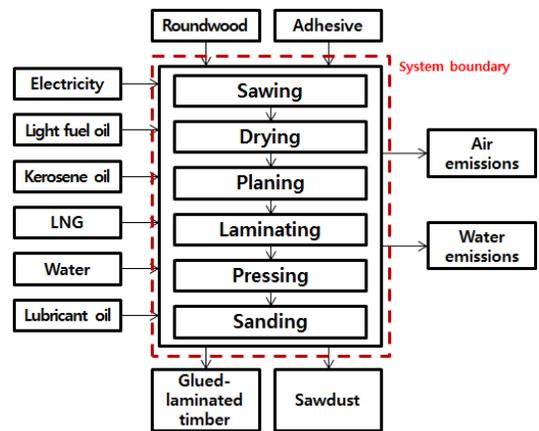


Fig. 3. Flowchart of glued-laminated timber production.

총 478 m<sup>3</sup>이다. 현장의 제품생산공정을 근거로 데이터 수집단위를 결정하였다. 구조용 집성재 공정흐름도는 Fig. 3과 같이 제조단계의 현장데이터 수집 단위인 목재제품 1 m<sup>3</sup> 생산을 기준으로 하여 주요 흐름을 표현하였다.

### 2.3. 데이터 수집 및 계산

참여업체의 현장데이터를 우선 적용하는 원칙에 따라 설문서를 통하여 데이터를 수집하였다. 업체별 데이터 관리 수준은 공통적으로 제재, 건조, 집성단계별로 원목 및 중간제품 투입량을 각각 관리하지만

**Table 1.** Information of life cycle inventory database

Category	Material	LCI DB	Reference	Year
Raw material	Larch	Round wood, softwood, debarked, u = 70% at forest road	Ecoinvent	2008
	Pitch pine			
	Korea red pine			
	Korean pine			
	Cypress			
	Other conifers			
Input	Adhesive	Phenolic resin, at plant/RER U	Ecoinvent	2008
Ancillary Materials	Lubricant oil	Light fuel oil	MOTIE*	2001
	Water	Underground water	Resource	-
Energy	Electricity	Electricity	MOTIE	2000
	Boiler oil	Kerosene oil	MOTIE	2006
	LNG	LNG	ME**	2013
	Light fuel oil	Light fuel oil	MOTIE	2001
Transport	Road transport	12 ton or over truck	ME	2012
		1-3 ton truck	ME	2012

\*MOTIE: Ministry of Trade, Industry & Energy

\*\*ME: Ministry of Environment

전기와 유류는 따로 구분하지 않고 공정 전체로 관리된다. 이에 따라 1차적으로 통합 데이터를 각 공정 단계별 장비의 요구 에너지량 및 가동시간을 바탕으로 분배하였다. 그리고 대상업체별로 복수의 목재제품을 생산하므로, 자원 및 에너지 할당 시 각 제품별 생산량에 따라 할당하고, 전기의 경우, 해당 제품의 가공면적으로 할당하였다. 업체별 데이터 합산방식으로 수평법을 적용하고 업체별 생산 기여도를 고려하여 가중 평 균을 적용하였다. 수평법은 업체의 동일한 단위공정끼리 먼저 합산한 후에 합산된 공정들을 통합하는 방식으로, 연산이 복잡하고, 개별 업체의 특징을 반영하지 못한다는 단점이 있지만 업체의 데이터누출을 방지할 수 있다는 장점이 있다(KEITI, 2006).

구조용 집성재 생산에 투입 및 배출되는 원료물질, 보조물질, 유틸리티 등의 상위흐름 및 하위흐름 연결을 위하여 국가 LCI DB를 수집하였으며, 국내 데이터베이스로는 환경부와 산업통상자원부에서 개발한 LCI DB를 수집하였고, 미 구축된 LCI DB는

국의 LCI DB인 Ecoinvent를 이용하였다. 이용한 데이터 출처는 Table 1에 나타내었다.

모든 대상 업체에서 건조기 스팀 생산을 위하여 지하수를 용수로 사용하고 있으나, 투입량(ton)을 관리하고 있지 않아 데이터 수집이 어려웠다. LCI 데이터베이스에서 지하수는 환경에 영향을 미치지 않기 때문에 지하수 사용은 제외하고, 지하수 사용을 위한 전기량은 통합 전기에 포함되어 고려하였다. 또한 윤활유는 경유를 사용하며, 제재 및 마감 기계의 톱날에 미량을 바르는 형식으로 사용되기 때문에 데이터 수집이 어렵다. 모든 대상 업체에서 경유 구매량 중 일부를 윤활유용 경유로 활용하기 때문에, 윤활유 사용은 제외하고 경유 사용량에 포함하여 산정하였다. 또한 윤활유용으로 사용되는 경유는 휘발되기 때문에 연소로 인한 대기배출물 산정 시 제외되어야 하지만, 사용량의 구분이 어렵고 그 양이 미미하기 때문에 대기배출물 산정 시 포함하였다.

전기의 경우 온실가스가 공정흐름 내에서 배출되지만 등유와 경유 같은 유류 및 도시가스와 같은 화

**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
Kerosene oil	34.3	MJ/L	0.8227	kg/L	71,900	3	0.6	kg GHG /TJ
Light fuel oil	35.3	MJ/L	0.8346	kg/L	74,100	3	0.6	
LNG	39.4	MJ/Nm <sup>3</sup>	0.811	kg/m <sup>3</sup>	56,100	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.)

**Table 3.** Green density by wood species (NIFoS, 2008)

Wood species	Larch	Pitch Pine	Korean Pine	Korea Red Pine	Cypress
Density (ton/m <sup>3</sup> )	0.79	0.71	0.68	0.71	0.71

석연료는 공정에서의 배출뿐만 아니라 연소로 인한 대기 중으로의 온실가스 직접배출이 발생한다. 따라서 화석연료의 연소에 의한 온실가스 직접배출량을 계산해야 한다(ME, 2009). 이를 위해 필요한 계수는 Table 2와 같다.

$$\begin{aligned} \text{화석연료 연소 온실가스 배출량(kg CO}_2 \text{ eq.)} = & \\ & [\text{화석연료 사용량(L)} \times \text{순발열량(MJ/L)} \times \text{CO}_2 \\ & \text{배출계수(kg CO}_2 \text{/TJ)} \div 10^6 \times \text{GWP (1)}] \\ & + [\text{화석연료 사용량(L)} \times \text{순발열량(MJ/L)} \times \text{CH}_4 \\ & \text{배출계수(kg CH}_4 \text{/TJ)} \div 10^6 \times \text{GWP (21)}] \\ & + [\text{화석연료 사용량(L)} \times \text{순발열량(MJ/L)} \times \text{N}_2\text{O} \\ & \text{배출계수(kg N}_2\text{O/TJ)} \div 10^6 \times \text{GWP (310)}] \end{aligned}$$

수송단계에서 원목 수송에 대한 ton-km를 구하기 위하여 원목의 수종별 중량 정보가 요구된다. 이에 따라 원목 부피(m<sup>3</sup>)를 무게(ton)로 환산하기 위하여 생재밀도를 적용하였다. 생재밀도는 ‘한국산 유용수종의 목재성질’(NIFoS, 2008)을 참고하여 Table 3과 같이 적용하였다.

원목은 대부분 개인 산주를 통하여 구매되기 때문에 구매 지역 및 범위에 대한 정보를 수집하여 평균 수송거리를 116 km로 도출하였다. 또한 접착제의 수송거리는 70 km로 도출하였다. 수송거리에 자재별 무게를 곱하여 ton-km를 도출하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 생산단계까지의 구조용 집성재 전과정 목록분석

원료채취단계부터 생산단계까지 계산된 국산 구조용 집성재 투입산출 목록은 Table 4와 같다. 이렇게 수집된 데이터는 국내 및 해외 LCI 데이터베이스와 연결하여 상위 및 하위흐름의 환경영향을 모두 포함하고자 하였다.

#### 3.2. 구조용 집성재의 환경영향 평가

구조용 집성재 전과정 목록을 기반으로 환경영향 중 지구온난화에 미치는 영향을 분석하였다. 전과정 평가 전용프로그램인 Sima pro.7을 이용하여 지식경제부의 특성화인자를 적용하여 결과를 도출하였다. 구조용 집성재 생산이 지구온난화에 미치는 영향을 GWP (Global warming potential)로 나타내었다(Fig. 4).

국산 구조용 집성재의 제재 및 건조, 집성 공정별 GWP 결과는 각각 31.0 (12%), 109.0 (48%), 94.2 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>3</sup> (40%)으로 나타났다. 전체 공정 중 건조 공정으로 인한 GWP 결과가 전체 공정의 48% 비율로 가장 높다. 이를 해외 구조용 집성재 LCI DB (Ecoinvent)와 비교하였다. 생산 공정 중 제재와 집성

**Table 4.** Input-output inventory of glued laminated timber

Category	Material	Value	Unit	
Input	Source	larch	3.49E + 00	m <sup>3</sup>
		pith pine	2.25E - 02	m <sup>3</sup>
		korea red pine	1.46E - 01	m <sup>3</sup>
		korean pine	1.66E - 01	m <sup>3</sup>
		cypress	2.20E - 02	m <sup>3</sup>
		other conifers	6.37E - 02	m <sup>3</sup>
		adhesive	9.93E + 00	kg
	Energy	electricity	4.11E + 02	kWh
		kerosene oil	3.04E + 01	kg
		LNG	2.98E + 01	kg
light fuel oil		1.11E + 01	kg	
Product	glued laminated timber	1.00E + 00	m <sup>3</sup>	
Output	Air emission	CO <sub>2</sub>	2.07E + 02	kg
		CH <sub>4</sub>	6.67E - 03	kg
		N <sub>2</sub> O	1.19E - 03	kg
	Byproduct	sawdust	1.96E + 00	m <sup>3</sup>
shaving		9.48E - 01	m <sup>3</sup>	
Transport	roundwood transport	3.22E + 02	tkm	
	adhesive transport	1.43E + 00	tkm	

단계는 큰 차이가 없으나 건조단계에서 가장 큰 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 건조공정에 투입되는 에너지원의 직접연소 배출량 계산 시 국내 데이터베이스와 해외 데이터베이스의 차이가 크게 나타났다.

이것은 국내 업체에서 건조 단계의 공정 연료로 화석연료인 등유와 도시가스(LNG)를 사용하고 있으나 해외의 경우, 탄소중립연료인 우드칩(wood chip)을 사용하여 온실가스 배출량에 큰 차이가 발생하고 있다. 우드칩의 연소로 인하여 배출되는 CO<sub>2</sub>는 나무생장 시 대기 중에서 흡수된 biogenic CO<sub>2</sub>이기 때문에 이는 별도의 배출량으로 산정하지 않는다. 그러나 국내 건조공정에서는 에너지원으로 등유와 도시가스를 사용하기 때문에 연소로 인한 직접 배출량이 매우 높다.

뿐만 아니라, 국내 업체의 건조 공정에서 건조목 1 m<sup>3</sup> 생산 시 사용되는 에너지는 평균적으로 1,482

MJ이며, 해외의 경우 건조 공정에서 건조목 1 m<sup>3</sup> 생산 시 사용되는 에너지는 958 MJ이다. 이는 전반적인 목재산업의 규모와 연관이 있으며, 또한 상대적으로 규모가 작은 국내 목재산업의 건조기들은 내구연수가 상당히 오래되었기 때문에 이에 따른 에너지 효율이 낮은 점도 결과에 영향을 미치고 있다. 이와 같이 장비의 효율과 에너지원뿐만 아니라, 건조공정은 일반적으로 사용자의 패턴, 업체의 계획 등에 따라 차이가 발생하기 때문에, 건조단계의 환경영향에 차이가 발생할 수 있다. 따라서 국내 업체의 건조 공정에 투입되는 에너지원을 목재 펠릿과 같은 바이오매스로 전환하여, 건조공정에서 해외와 동일 수준인 22.2 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>3</sup> 만을 배출한다고 가정한다면 기존 대비 약 37%의 온실가스저감 효과를 보일 것으로 판단된다.

집성 단계의 경우, 국산 구조용 집성재 데이터베이스는 해외 데이터베이스 대비 약 27% (35.6 kg

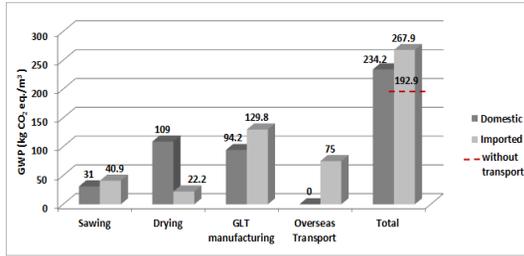


Fig. 4. Global warming potential of each manufacturing process of glued laminated timber (GLT) (Imported LCI DB by Ecoinvent).

CO<sub>2</sub> eq.)정도 더 낮은 온실가스 배출을 나타내었다. 집성 단계에서 가장 큰 차이를 보이는 부분은 구조용 집성재에 투입되는 접착제이다. 해외의 경우, 구조용 집성재 1 m<sup>3</sup> 생산에 투입되는 접착제는 약 12 kg의 멜라민이 사용되고 이에 따라 발생하는 온실가스 배출량은 47.24 kg CO<sub>2</sub> eq.이다. 이에 비하여, 국내의 경우, 구조용 집성재 1 m<sup>3</sup> 생산에 투입되는 접착제는 약 5 kg의 페놀레조시놀을 사용되고 이에 따라 발생하는 온실가스 배출량은 17.51 kg CO<sub>2</sub> eq.이다. 따라서 집성단계에서 사용되는 접착제의 차이로 인하여, 국산 구조용 집성재는 해외 구조용 집성재에 비해 약 30 kg CO<sub>2</sub> eq.의 온실가스를 적게 배출하고 있다. 구조용 집성재는 접착제종류 및 도포방법과 압체공정에 있어서 국가별 또는 제품별로 기술적 차이가 존재할 수 있으며, 국내의 경우 대부분 페놀레조시놀을 접착제로 사용하기 때문에 해외 데이터베이스와 차이가 발생한 것으로 판단된다.

또한 해외 구조용 집성재를 국내에서 수입하여 이용할 경우, 수송에 따른 온실가스 배출량을 고려해야 한다. 유럽(브레멘항-인천항, 약 20,000 km)에서 구조용 집성재 1 m<sup>3</sup> (기건밀도 0.448 ton/m<sup>3</sup>)을 수입할 경우, 수송값은 8,950 ton-km이며, 해상운송 LCI DB (Ecoinvent)를 연결하여 GWP를 구하였다. 해상운송에 따른 이산화탄소 배출량이 약 75 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>로 도출되었다. 따라서, 국산 구조용 집성재는 수입 구조용 집성재에 비해 온실가스를 약 13% 덜 배출하는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

국산 구조용 집성재에 대해 원료채취단계부터 생산단계까지의 전과정목록을 작성하고 지구온난화에 미치는 영향을 평가한 결과 1 m<sup>3</sup>의 집성재 생산시 234.2 kg CO<sub>2</sub> eq.의 온실가스를 배출하며, 수입재와 비교하였을 때 약 13% 온실가스를 적게 배출하는 것으로 나타났다. 또한 기존의 건조 에너지를 바이오매스로 전환시에는 기존 대비 37%의 온실가스를 감축하여 친환경성을 제고할 수 있을 것으로 판단되었다. 본 결과는 향후 목조주택의 환경성을 규명하기 위한 전과정평가 수행 시, 투입된 목재제품의 상위흐름 환경부하를 고려하기 위한 기초자료로 활용 가능하다. 뿐만 아니라 향후 목재제품 저장량 표시제도 시행 시, 목재의 탄소저장량과 탄소배출량 병행 표기를 위한 기초자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 2015년도 국립산림과학원 석·박사연구원의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

- Cha, J.H. 2009. Life cycle inventory analysis of larch lumber and evaluation of greenhouse gas reduction potential of wooden house. Doctoral thesis. Seoul National University.
- Ecoinvent. <http://www.ecoinvent.org/database/database.html>
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- ISO. 2006. International Standard Organization: ISO 14040 Environmental management -Life cycle assessment -Principles and framework.
- Kang, K.S. 2010. Assessment of greenhouse gas emission reduction for larch timber beam wooden housing: an application of life cycle analysis approach. Master thesis. Seoul National

- University.
- Kim, J.D. 2015. Estimation and reduction strategies of carbon emissions from manufacture of wood landscape facilities. Master thesis. Kangwon National University.
- Korea Energy Agency. 2006. Application manual of energy-calory conversion standard.
- Korea Environmental Industry & Technology Institute. 2006. Guideline for life cycle inventory database construction.
- Korea Institute of Civil Engineering and building Technology. 2008. National database for environmental information of building products.
- Ministry of Environment. 2009. Guideline for carbon labeling.
- Ministry of Trade, Industry & Energy. 2015. Implementing regulations in energy law.
- National Institute of Forest Science. 2013. Estimation of greenhouse gas emissions of korean major timbers using life cycle assessment.
- National Institute of Forest Science. 2008. Wood properties of the useful tree species grown in Korea.
- 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.