

건설부문의 온실가스 배출량 산정 및 배출 특성 연구

정영선*† · 문선혜** · 조수현***

*한국건설기술연구원 건축에너지연구소 연구위원, **한국건설기술연구원 건축에너지연구소 박사후연구원
***서울시립대학교 건축공학과 박사과정, 한국건설기술연구원 건축에너지연구소 학생연구원

Analysis of Greenhouse Gas Emissions in the Construction Sector

Jeong, Young-Sun*† · Mun, Sun-Hye** · Cho, Suhyun***

*Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea
**Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea
***Doctor Student, Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, Korea /
Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, Korea

ABSTRACT

Global warning and climate change adaptation policies have become a major issue for all nations. To establish and implement a GHG (Greenhouse gas) reduction plan in the construction sector, we need to secure data for actual GHG emissions. However, information on energy consumption and GHG emissions in the construction sector is lacking. The purpose of this study is to calculate 1) GHG emissions generated in the construction sector, 2) the annual variation in emissions, and 3) emission characteristics from emission intensity of the construction sector. This study provides information on the amount of GHG emissions and its characteristics within the construction industry and in the overall view. As a result of GHG emissions calculations from the construction sector, GHG emissions in 2007 were 2.51 million ton CO_{2-eq}, almost the same as the emission reported by the government. Annual GHG emissions have decreased at a mean rate of (-)1.2% from 2006 until 2019. The calculated emission intensity of the construction sector was about 0.02 ton CO_{2-eq}/million KRW, showing a continuously decreasing tendency until 2019, at an annual mean rate of (-)0.3%.

Key words: Construction Industry, Greenhouse Gas, CO₂ Emission, CO_{2-eq} Emission Intensity

1. 서론

지구온난화와 기후변화는 지속가능한 개발을 위한 중요한 키워드가 되었다. 세계적으로 건설은 국가 온실가스 배출에 있어서 상당한 비중을 차지하며 기후변화 이슈에 중요한 역할을 하고 있다. 건설업은 각 국에서 중요한 에너지 소비 분야이고 환경부하에 영향을 주는 분야이기 때문이다. 국가 통계포털(KOSIS)에 따르면 최근 10년간 건설업은 국내총생산(GDP)의 4.8 ~ 6.0%를 차지하며 한국경제에 있어 역사적으로도 중요한 역할을 하여 왔다.

우리나라의 2018년 국가 온실가스 총배출량은 727.6백만 톤CO_{2-eq}로 보고되었으며, 이는 1990년 대비 149.0% 증가한 수치이다(GIR, 2020). 한국 정부는 ‘저탄소녹색성장기본법(2010년 1월 제정)’을 통하여 발전, 산업, 수송, 건물, 공공 등 전 부문에 걸친 체계적인 온실가스 감축을 위한 기반을 마련하였고, ‘시행령’ 제25조에서는 2030년 국가 온실가스 총배출량을 2017년 온실가스 총배출량의 24.4%만큼 감축하는 것으로 국가 감축목표를 규정하고 있다. 정부가 2011년에 설정한 부문별업종별 온실가스 감축 목표안에 의하면 산업부문 내의 건설업은 2020년 온실가스 배출 전망치

†Corresponding author : sunj74@kict.re.kr (10223, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyang-Si, Republic of Korea. Tel. +82-31-910-0108)

ORCID 정영선 0000-0003-0034-7541 문선혜 0000-0002-7204-6556
조수현 0000-0002-6713-4789

(Business as usual, BAU) 대비 7.1%의 온실가스 감축 목표를 설정하고 있다(Korean Government, 2011). 건설업이 산업 분야에 속하여 있음을 감안 할 때 산업부문 전체의 감축 목표가 18.2%로 설정된 것에 비하면 상대적으로 낮은 비율이지만, 기술의 발전 속도가 상대적으로 느리게 진행되는 건설업의 보수적 특성과 제조업과 다른 건설업의 특성을 감안하여 볼 때 달성하기 쉬운 목표라고 할 수는 없다(Yi, 2012). 또한 국내 건설업의 온실가스 배출량 및 감축목표 등의 결과나 연구가 상세하게 보고된 바가 전혀 없다.

건설업은 제조업 등의 타부문과 달리 단품 수주산업으로 발주자의 의뢰에 따라 건설 목적물(건물, 인프라 등)이 건설되므로 규격과 성능이 각기 다르게 된다. 또한 하나의 프로젝트에 다공정의 작업이 순차적으로 또는 동시에 투입되며 지역적 특성에 의해 생산방법(공법 및 공정)이 바뀌고 기후 및 계절적 영향도 받게 되는 복잡한 산업이다. 따라서 건설업의 프로젝트 당 온실가스 등의 환경부하를 계산해 내는 것은 매우 어렵고 복잡하게 되며, 국가 규모에서 건설업이라는 건설부문의 온실가스 배출량을 산정하는 것도 어렵다고 여겨지고 있다.

신기후체제 상에서 한 국가는 모든 부문의 온실가스 배출량 산정과 탄소중립을 위한 감축 노력이 필요하다. 따라서 건설업도 온실가스 감축계획 수립과 감축 이행을 위해 온실가스 배출량에 대한 실질적인 자료 확보가 반드시 필요하다. 또한 건설업이 산업전체에서 또는 국가전체에서 차지하는 온실가스 배출량 비중이나 영향 정도에 대한 정량적인 분석과 그 배출 특성에 대한 연구도 요구된다.

이에 본 연구는 이러한 필요성을 근거로 건설현장 및 건설장비의 에너지 소비로 인하여 건설업에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하고, 연도별 배출량의 변화와 건설업의 활동자료인 건설수주액 대비 온실가스 배출 원단위 산출을 통해 그 특성을 분석하고자 한다. 이를 통해 본 논문은 국내 건설업에서의 온실가스 배출량 및 그 특성에 대한 정보와 전체적인 검토에 관한 정보를 국가 에너지 정책 및 온실가스 감축 정책 수립을 위한 기술적 자료로 제공하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

건설업은 산업 업종으로써 일반적으로 주거 및 비주거용 건물의 건축건설 활동과 각종 목적물의 건설 활동인 토목공사에 의한 일반 및 전문건설 활동을 나타내는 조직경계로 정의할 수 있다. ‘건설산업기본법’에 의하면 건설산업은 시설물을 설치·유지·보수하는 토목공사, 건

축공사, 산업설비공사, 조경공사 및 환경시설공사 등과 기계설비 및 기타 구조물의 설치 및 해체공사 등을 포함한다.

본 연구는 활동자료로써 상기 건설공사가 이루어지는 건설 현장에서 건설 목적물을 시공하기 위해 활용되는 건설장비의 가동 및 운영, 현장 내에서의 자재 운반과 건설 현장에서의 현장 시공 및 조립, 설치, 시공관리 등에서 소비되는 에너지를 대상으로 한다. 그리고 상기의 에너지 소비에 의해 발생한 온실가스 배출량을 연구범위로 하였다. 건설공사에 투입되는 건설자재의 생산과정 동안에 발생하는 에너지 소비량(자재의 내재에너지) 및 건설된 후에 건물 또는 시설물의 운영유지단계에서의 에너지 소비 및 온실가스 배출은 본 연구의 범위에 포함되지 않는다.

2.1 온실가스 배출량 산정식

IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change)의 가이드라인(IPCC, 1996)에 따르면 온실가스 배출량의 산정방법 및 적용기준은 배출시설(배출원)의 규모 및 세부 배출활동의 종류에 따라 산정등급인 Tier수준을 준수하여 배출량을 산정·보고하여야 한다. 따라서 온실가스 배출량을 산출하는 기본적인 식은 다음 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Emissions}_{\text{GHG, fuel}} \\ = Q_{i, \text{fuel}} \times EC_i \times EF_{i,j} \times f_i \times GWP \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

$\text{Emissions}_{\text{GHG, fuel}}$: 연료 종류별 온실가스 배출량

$Q_{i, \text{fuel}}$: 에너지사용량 [unit, 연료단위]

EC_i : 연료별 발열량 [kcal/unit]

$EF_{i,j}$: 탄소배출계수 [TC/kcal]

f_i : 연료별 산화율

GWP : 온실가스별 CO₂ 등가계수

본 연구의 온실가스 배출량 산정식은 IPCC 1996 가이드라인에 따라 식 (2)을 적용하고, Tier 1수준을 적용하였다. 국가 에너지통계(KEEI, 2020)에서 건설업에서 소비되는 에너지원별 소비량에 연료종류별 온실가스 배출계수를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 건설업 전체에서 발생하는 연간 총 온실가스는 식 (3)과 같이 에너지원별 온실가스 배출량을 모두 합산하여 산출하였다.

$$Emissions_{GHG, fuel} = Fuel Consumption_{fuel} \times Emission Factor_{GHG, fuel} \quad (2)$$

$$Emissions_{GHG} = \sum_{fuels} [Emissions_{GHG, fuel}] \quad (3)$$

여기서,

Fuel Consumption_{fuel} : 연료 종류별 소비량

Emission Factor_{GHG, fuel} : 연료 종류별 온실가스 배출계수

Emissions_{GHG} : 온실가스 배출량

연료별 온실가스 배출계수를 도출하기 위해 적용된 연료별 탄소계수 및 산화율과 온실가스 배출계수는 다음 Table 1과 같다.

Table 1. GHG emissions factor per energy source

Division		Carbon Factor [TC/TJ]	Oxidation Quotient	GHG Emissions Factor [CO ₂ -eq/TOE]
Petroleum	Gasoline	18.9	0.99	2.899
	Kerosene	19.6	0.99	2.995
	Diesel	20.2	0.99	3.087
	Heavy Oil	21.1	0.99	3.223
LPG		17.2	0.995	2.633
City Gas		15.3	0.995	2.343

TC: Ton Carbon (10³ Carbon Amount)

TJ: Tera Joule (Energy Unit)

CO₂-eq: CO₂ Equivalent of GHG, Amount of CO₂, CH₄, and N₂O multiplied by Equivalent Coefficient (CO₂ = 1, CH₄ = 21, N₂O = 310)

2.2 온실가스 배출 원단위 산정식

모든 산업부문에서 에너지 이용 현황, 에너지 생산성의 향상, 에너지절약 정도 등을 평가하는 하나의 지표로 ‘원단위(Intensity)’를 활용하고 있다. 에너지 소비 원단위는 제품(중량 기준(kg)), 면적(m²) 또는 금액(원) 등의 한 단위를 생산할 때 필요한 에너지가 얼마나 사용되는가를 나타내는 지표로서 사용되고 있다.

건설업의 온실가스 배출량 특성을 검토하기 위해 에너지 원단위와 같은 건설생산 활동의 한 단위에 의해 배출되는 온실가스 배출 원단위(emission intensity)를 산출하였다. 즉, 기준단위를 생산할 때 또는 활동을 수행

할 때 발생하는 CO₂ 배출량이 얼마인가를 도출하는 것이다. 본 연구에서는 건설업의 생산 규모를 나타내는 ‘건설수주액’을 건설생산 활동을 나타내는 지표로 활용하였다.

$$Emission Intensity_{GHG} = \frac{Emissions_{GHG}}{Cost_{order}} \quad (4)$$

여기서,

Emission Intensity_{GHG} : 온실가스 배출 원단위

Emissions_{GHG} : 연도별 온실가스 배출량 [천톤CO₂-eq]

Cost_{order} : 연도별 건설수주액 [백만원]

배출 원단위 산출을 위한 식은 식 (4)와 같다. 건설산업의 건설수주액 기준 온실가스 배출 원단위는 건설업의 1단위(백만원) 건설수주액 규모에 의해 온실가스가 얼마나 발생하는가를 나타내는 지표가 된다. 따라서 그 수치가 클수록 온실가스 배출량이 높은 것이라 볼 수 있다.

3. 선행연구 및 문헌고찰

건설단계에서의 에너지소비량과 온실가스 배출량을 산정하기 위해 신축단계에서 투입되는 소요자재별 에너지소비량과 CO₂ 배출량, 시공과정의 에너지소비량과 CO₂ 배출량을 산정하는 몇몇 연구가 수행되어 왔다.

Kim et al. (2004)은 건설자재의 온실가스 배출량 및 배출 원단위 산출을 위한 연구에서 한국은행이 발표한 산업연관표를 활용하였다. 시공단계의 산출범위는 건설기계장비에 의한 에너지 소비량을 고려하여 산출하였고, 신축 공동주택의 사례연구로부터 시공과정에서 배출되는 CO₂ 배출량은 건설자재에 의한 배출량의 2.8%정도를 차지하는 것으로 나타났다.

한국건설기술연구원(2006)은 건설업의 온실가스 배출량을 직접배출과 간접배출로 구분하여 도출한 바가 있다. 2000년 산업연관표로부터 에너지 투입산출모형을 이용하여 2000년 기준의 국내 건설부분별 에너지 소비량과 CO₂-eq 배출량을 분석하였다. 국내 최초로 국가 건설부분의 온실가스 배출량을 정량적으로 산출하였다는 것에 의의가 높다. 산출된 건설업의 직접 배출량은 2000년 기준으로 6.4백만 톤CO₂-eq로 전체산업의 1.6%를 차지하는 것으로 분석하였다. 그러나 2000년 산업연관표로부터 분석된 결과로 2000년 기준의 시계열적 한계와 간접적인 산출방법이라는 한계가 있다.

Adolf와 Aidan (2010)은 아일랜드의 건설업의 온실가스 배출량을 정량적으로 산정하고 감축 잠재량을 도출하고자 하였다. 산정방법은 Kim (2004)의 연구와 같이 산업연관분석법을 활용하였다. 건설업의 온실가스 배출을 건설현장에서 장비의 사용에서 발생하는 직접배출과 자재 생산, 골재 채취 등 간접배출로 구분하였다. 그의 연구결과에 따르면 2005년에 아일랜드의 건설업은 13.81백만 톤CO₂으로 국가 전체 배출량의 11.7%를 차지한다는 결과를 제시하였다.

Li et al. (2010)은 건설장비와 부수 건설자재에 기반하여 LCA (Life Cycle Assessment) 평가법을 활용하여 건설 단계에서의 환경부하를 산출하였다. 샘플사례를 통해 각 시설물의 프로젝트에서 제공되는 제한된 정보를 활용하여 환경부하 영향을 도출하였다.

Yi (2012)는 개별 건설 프로젝트의 건설현장에서의 장비의 가동과 자재의 설치, 운송에 관한 에너지 소모 및 온실가스 배출량을 산정하는 모형을 제시하였다. Yi et al. (2014)은 건설공정에 투입되는 건설장비와 노무자에 의해 발생하는 CO₂ 배출량을 확률-통계적으로 추정하는 시스템을 제안하였다. 이를 통해 건설시공의 계획단계에서 CO₂ 발생량을 추정하여 단일 프로젝트의 성과지표를 관리하는 의사결정 도구로 활용될 것을 기대하였다. 건설업 전반에 대한 평가에 활용되기 어렵고, 건설장비의 성능데이터와 노무자관련 변수에 대한 정확한 자료의 수집에 한계를 제시하였다.

파리협정에 따라 감축의 주체인 국가가 모든 부문의 온실가스 감축을 검토하여야 하므로, 본 연구는 현재 국내의 감축목표 수립 및 감축활동에서 소홀히 다루어지고 있는 국가 레벨의 건설업에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하고, 연도별 배출량의 변화와 온실가스 배출 원단위를 도출해 보고자 하였다.

4. 국내 건설업 현황 분석

본 장에서는 건설업에서 건설 활동을 통해 소비되는 에너지 소비량과 건설업의 경제활동 자료로서 건설수주액을 구체적으로 살펴보았다.

4.1 건설업 에너지 소비 현황

본 연구에서는 국가 에너지통계에 나타난 건설부문의 에너지소비 통계를 조사·분석하여 건설부문의 활동에서 소비되는 에너지량을 산출하고 에너지원을 분석하였다.

활용된 국가 에너지통계는 ‘에너지통계연보(KEEI, 2020)’로 에너지공급사가 매월 생산 또는 업종별로 판매하는 에너지 실적을 보고 받아 작성하는 보고 통계로 에너지수요와 공급에 관한 기초통계이다.

먼저 국내 에너지통계에 따른 부문별 에너지소비의 구성을 살펴보면 산업부문, 수송부문, 가정부문, 상업부문, 공공부문으로 구성된다. 건설업의 에너지소비량은 산업부문에 속하며 산업부문은 농림어업, 광업, 제조업, 건설업 등으로 구성된다. 산업부문의 에너지소비량은 1990년에 36.14백만 TOE에서 2000년에는 84.34백만 TOE로 약 2.3배 증가하였고 2010년에는 116.59백만 TOE로 1990년 대비 약 3.2배 소비량이 증가하였다. 2019년에는 14.29백만 TOE로 산업부문은 국내 최종 에너지 소비의 61.8%의 비중을 차지한다.

국내 건설업에 의한 에너지 소비량은 1990년 1.36백만 TOE에서 2010년 2.65백만 TOE로 약 2배 가까이 증가하였다. 건설산업 활동의 변동에 따라 2010년부터 2019년까지는 연평균 2.51백만 TOE를 기준으로 +8.5% ~ -9.9% 범위에서 변동하며 산업에서 차지하는 비중이 낮아지는 추세를 보이고 있다. 2019년에는 2.43백만 TOE로 국내 최종에너지 소비량의 1.05%를 차지한다. Table 2와 같이 산업부분에서 건설업의 에너지소비 비중은 1990년에 3.8%, 2000년 2.5%, 2010년 2.3%, 2019년 1.7%로 낮아지는 것으로 나타났다.

Table 2. Energy consumption variation from domestic construction sector

[Million TOE] \ Year	1990	2000	2010	2018	2019
Final energy consumption	74.7	145.0	195.4	233.4	231.4
Industrial energy consumption	36.14	84.2	116.6	143.5	142.9
Construction sector (Ratio, %)	1.36 (3.8)	2.14 (2.5)	2.65 (2.3)	2.46 (1.72)	2.43 (1.70)

건설업은 휘발유, 등유, 경유, 중유 등 석유류 연료와 LPG, 도시가스 그리고 용제, 아스팔트, 기타제품을 포함한 비연료로 구성된다. 2019년 기준의 에너지통계 데이터를 자세히 살펴보면 건설업의 에너지 비중은 건설활동의 연료 연소 등의 직접에너지로 사용된 석유류가 726.7천 TOE로 29.9%를 차지하고, LPG가 20.2천 TOE로 0.8%, 도시가스 1.99천 TOE로 0.01%, 도로포장 등 건설에 사용된 아스팔트(용제 포함)가 1,684.1천 TOE로 69.2%를 구성한다. 이차

럼 아스팔트를 제외한 석유류의 에너지소비비가 높은 것은 건설현장 등에서 건설현장 시설 및 건설장비에 의한 에너지소비 즉, 경유, 휘발유 등의 사용이 높고 운반 및 현장 시공, 조립 등의 활동에 의한 건설현장에서의 에너지소비량이 크기 때문인 것으로 분석된다. 한국건설기술연구원(2006)의 연구에서도 건설부문에서 에너지원별 소비량의 분석에서 경유가 가장 많이 소비되는 것으로 나타났고 다음으로 휘발유, 전력, 등유, 중유, LPG 순으로 분석되었다. 미국 EPA (2009) 보고서에서도 미국의 건설부문의 연료 소비량 중 약 88%가 휘발유와 경유가 차지하며 약 12%를 연료용 천연가스 소비가 차지하는 것으로 보고하고 있다.

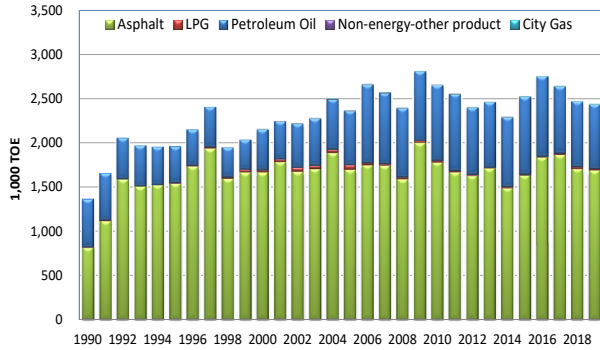


Fig. 1. Annual variations of energy source composition in construction sector

Fig. 1은 건설부문의 에너지원 구성 및 연도별 변화를 보여주고 있다. 건설부문의 총 에너지소비량의 증가는 1990년에서 2010년까지 연평균 3.9%의 증가를 보였다. 또한 아스팔트 소비를 제외한 건설활동에 사용된 에너지(석유류 및 LPG)의 증가는 연평균 약 3.4%에 이른다. 건설경기 변동의 영향을 받아 증가 폭은 다르지만 꾸준히 건설부문의 에너지소비량은 증가해오고 있다.

4.2 국내 건설수주액 현황

건설수주액은 건설업의 산업 규모를 나타낸다. 한국은행의 경제통계시스템(<http://ecos.bok.or.kr>)에 보고된 국내 건설수주액을 살펴보면(Fig. 2), 1990년 약 21조원 규모에서 2000년에 약 41.8조원 규모로 성장하고, 2007년 112.5조원으로 정점을 찍은 후 2013년에 77.9조원까지 낮아졌다. 이후 크게 증가하여 2019년에 154.2조원, 2020년에 179.6조원으로 성장하였다. 2020년의 국내총생산(GDP)이

약 1,933.2조이므로 건설업의 규모는 9.3%를 차지한다. 건설수주액은 발주처에 따라 공공부문과 민간부문으로 구분이 가능하고, 주택, 업무시설, 공장 등을 건설하는 건축공사부문과 도로, 교량, 철도, 항만, 송전, 댐 등을 조성하는 토목 엔지니어링(인프라)부문으로 구분할 수 있다.

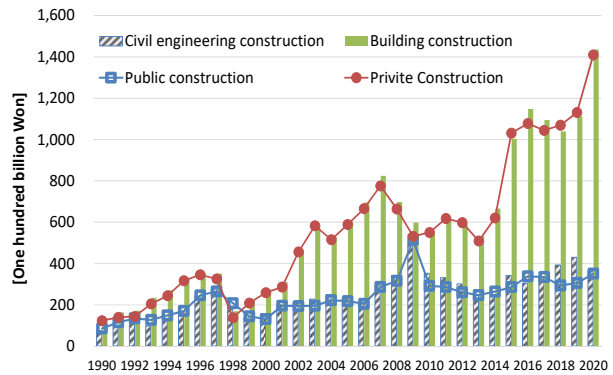


Fig. 2. Domestic construction orders size and status

Fig. 2에서 알 수 있듯이, 국내의 건설업은 토목공사의 대부분이 공공 발주에 의한 공공부문으로 구성되며, 건축공사는 학교 또는 관공서 등의 공공 시설물 건설을 제외한 대부분의 공사가 민간의 사업 개발에 따라 시행되는 산업으로 설명될 수 있다. 또한 민간공사(건축공사)가 공공공사의 약 4배 수준으로 높아 활동인자 측면에서 민간공사에 의한 온실가스 배출량이 높을 것을 추정해 볼 수 있다.

토목분야 중 시장규모가 가장 큰 분야는 도로 및 교량, 철도분야이며, 2008년 이후 하천분야가 크게 성장한 반면, 토지조성공사는 2007년 이후 급격한 하락추세를 보이고 있다. 건축의 시장규모는 주택분야가 가장 크며, 사무실 및 점포 순이나, 관공서 등 공공건물에 대한 시장규모도 2008년 이후 지속적으로 상승하고 있다. 2020년 기준으로 건축공사의 수주액 비중이 79.9%이고 토목공사가 20.1%를 차지한다.

5. 연구결과

5.1 온실가스 배출량 산정 결과

본 연구에서 건설업의 온실가스 배출량 산정결과, 2007년의 온실가스 배출량은 2.51백만 톤CO_{2-eq}로 나타났다. 2010년 배출량은 2.67백만 톤CO_{2-eq}이고, 2017년에 2.38백만 톤CO_{2-eq}, 2018년 2.33백만 톤CO_{2-eq}, 2019년엔 2.30백

만 톤CO_{2-eq}으로 나타났다. Fig. 3에 산출결과를 그래프로 도식화하여 나타내었다.

건설업의 온실가스 배출량 추이를 보면, 1990년 배출량은 1.68백만 톤CO_{2-eq}에서 1998년까지 1.07백만 톤CO_{2-eq}로 줄어들었으나, 2006년에 2.78백만 톤CO_{2-eq}까지 1998년 대비 약 2.6배 급격히 증가하였다. 2006년 이후 2019년까지 연평균 -1.2% 수준으로 낮아지고 있으며, 배출량은 평균 2.50백만 톤CO_{2-eq}임을 알 수 있다.

연도 구간별(10년)로 살펴보면, 건설부문의 온실가스 배출량은 1990년부터 2010년까지 연평균 0.2%로 감소하였고, 2001년부터 2010년까지는 6.8%로 증가하다가 2011년부터 2019년까지는 -1.3%로 낮아지면서 일정수준(2.5백만 톤CO_{2-eq})로 유지되다 2017년부터 다소 배출량이 저감되는 것으로 분석된다.

정부의 건설부문 온실가스 감축 목표가 2020년 배출전망 대비 7.1% 감축으로 목표배출량이 2.8백만 톤CO_{2-eq}임을 감안할 때 2020년 목표는 달성될 것임을 알 수 있다. 그러나 그간 정부의 건설부문에서의 정책적, 기술적 감축 방안 및 이행계획 등이 뚜렷이 제시되지 못하였고, 2030년 감축로드맵 목표 등도 제시되지 못한 점을 고려할 때, 감축 목표가 온실가스 감축 활동에 의해 달성되었다고 판단하기에는 부족함이 있다. 따라서 건설부문의 어느 부문에서, 어떠한 이유로 배출 활동이 이루어지게 되는지 상향식 방식의 상세한 검토와 조사가 필요하다고 판단된다.

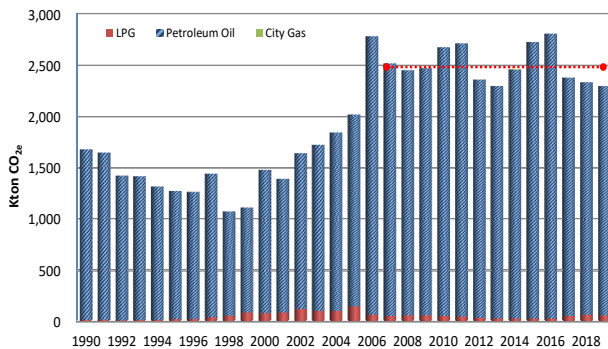


Fig. 3. Annual variations of GHG emission in construction sector (1990-2019)

에너지원별로 분석하여 보면, 2019년 기준으로 건설부문의 온실가스 배출은 건설 활동에 사용되는 석유류인 휘발유, 등유, 경유 등에 의한 배출량이 97.7%를 차지하며 LPG 사용에 의한 배출량 2.3%, 도시가스는 0.01%로 미미

하다. 도로공사 및 방수공사 등에서 도로의 포장 및 시설물의 방수 등을 위한 건설재료로 사용되는 것으로 판단되는 아스팔트 소비량은 연소에 따른 온실가스 배출이 없으므로 본 연구의 온실가스 산출에서는 제외하였다.

2018년에 보고된 ‘2030 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본로드맵 수정안’ 및 2020년의 ‘2050 장기 저탄소 발전전략’에는 건설부문의 온실가스 배출전망 및 감축목표량이 명확히 제시되어 있지 않다. 다만, 정부의 언론 보도자료(2011)에 따르면 2007년 기준으로 건설업의 온실가스 배출량은 2.5백만 톤CO_{2-eq}로 국가 전체 배출량인 610.5 백만 톤CO_{2-eq}의 약 0.4%를 차지한다고 확인할 수 있다. 상기 2007년 건설업의 온실가스 배출량 결과를 본 연구의 산출 결과와 비교하면 본 연구의 결과가 정부의 분석결과와 유사한 결과를 나타낸 것으로 판단할 수 있다.

미국의 경우, 2002년 건설 분야의 온실가스 배출량은 미국 전체 온실가스 배출량의 약 1.7%를 차지하였고, 미국의 총 산업분야에서 발생하는 온실가스 배출량의 6%를 차지한다고 보고되었다(EPA, 2009).

5.2 온실가스 배출 원단위 분석

Fig. 4는 본 연구에서 산출된 건설업의 온실가스 배출 원단위의 연도별 변화 결과를 나타내고 있다. 1990년(0.08 톤CO_{2-eq}/백만원)부터 1996년(0.021톤CO_{2-eq}/백만원)까지 연평균 약 19.8% 급격한 감소 추세로 온실가스 배출 원단위가 낮아졌다. 이는 건설활동에 의한 온실가스 배출이 생산활동 단위 당 크게 저감된 것으로서, 1990년대 건설기술의 향상, Value Engineering을 통한 시공 공정의 효율화와 건설장비의 연비 개선 등에 의해 건설공사의 효율화 과정을 통해 배출 원단위가 크게 낮아진 시기로 분석할 수 있다.

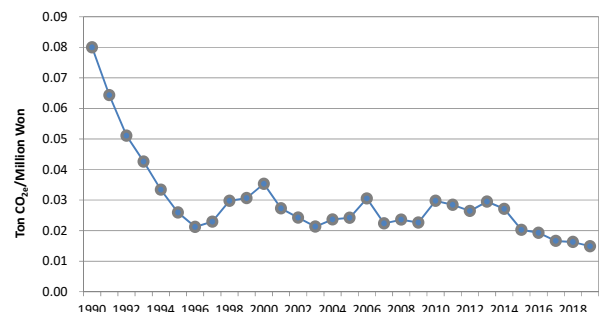


Fig. 4. Annual variations of GHG emission intensity in construction sector (1990-2019)

2019년의 건설공사 수주액 백만원 당 0.015톤CO_{2-eq}의 배출 원단위로 나타났고, 1996년 이후 2019년까지 원단위의 증감을 반복하면서 연평균 -0.3%로 지속적으로 낮아지고 있는 것으로 나타났다.

국내 건설부문의 온실가스 배출 원단위의 수준을 비교하기 위해 수집 가능한 국내의 연구결과와 그 값을 비교하였다. Table 3에 본 연구에서 도출한 건설부문 온실가스 배출 원단위(결과 A)와 국내 타 연구결과(결과 B (KICT, 2006)) 및 미국(결과 C (EPA, 2009))의 건설부문 온실가스 배출 원단위를 비교하였다.

Table 3. Comparison of intensity from construction sector

Year	Intensity	Result A	Result B (Domestic)
2000년 기준		0.035	0.027 ~ 0.276

Year	Intensity	Result A	Result C (USA)*
2002년 기준		0.024	0.192

* Source Result Value: 0.23 metric ton CO₂/Thousand USD, with Exchange Rate 1,200 KRW/USD

산업연관표를 활용해 도출한 2000년도의 국내 건설부문의 온실가스 배출 원단위인 결과 B가 건설공사 종류에 따른 세분화된 결과를 도출하여 각 세부 건설부문의 배출 원단위를 제공하고 있어 국내 건설부문 전체의 원단위인 결과 A를 배출 원단위 범위에 포함하고 있는 것으로 나타났다.

미국의 2002년 기준 결과인 배출 원단위 결과 C는 본 연구에서 도출한 배출 원단위와 상당한 차이를 보이고 있다. 결과의 비교에 있어 미국의 건설업 원단위 결과는 2002년 건설업의 온실가스 배출량과 미국 경제총조사보고서(Economic census)의 건설부문 부가가치액을 활용한 점에 차이가 있음을 고려하여야 한다.

6. 결론

한국의 건설업에서 소비되는 에너지를 검토하고 온실가스 배출량과 연도별 배출량의 변화, 건설수주액 대비 배출 원단위의 산출을 통해 그 수준과 증감 추세를 분석하였다.

산업활동의 한 부분으로서 건설업은 한 국가의 건축물과 인프라 시설(Infrastructure)의 건설을 통해 건설 목적물

의 환경부하 성능을 지속적으로 향상시키는 주요한 역할을 수행하고 있다. 또한 국가 경제의 근간이 되는 중요한 산업으로써 온실가스 배출의 요인으로도 신중히 검토되어야 하는 분야이다. 그러나 건설부문에서의 온실가스 배출량을 감축하고자 하는 국내의 활동은 매우 미흡한 편이다.

국내 건설업의 활동에 의한 에너지 소비량은 꾸준히 증가하는 추세를 보이며 2019년에 2.43백만 TOE로 국내 총 에너지 소비량 중 1.05%의 비중을 차지한다. 건설업에서 소비되는 에너지원은 휘발유, 등유, 경유 등의 석유류와 LPG, 도시가스로 구성된다. 이중 석유류는 726.7천 TOE이며 29.9%를 차지한다.

건설업의 온실가스 배출량 산정결과, 2007년의 온실가스 배출량은 2.51백만 톤CO_{2-eq}으로 정부가 2020년 국가 온실가스 감축목표에서 발표한 건설업의 배출량인 2.5백만 톤CO_{2-eq}과 거의 동일한 결과를 나타냈다. 1998년에 1.07백만 톤CO_{2-eq}으로 가장 낮게 배출되었으며 2006년에는 2.78백만 톤CO_{2-eq}로 1998년 대비 약 2.6배로 급격히 증가한 것으로 분석되었다. 2006년 이후 2019년까지 건설업의 배출량은 연평균 -1.2% 수준으로 낮아지고 있으며, 연간 평균 배출량은 2.50백만 톤CO_{2-eq}로 산출되었다.

건설업의 온실가스 배출 특성을 파악하기 위해 국내 건설시장 규모를 나타내는 건설수주액을 기준으로 CO_{2-eq} 배출 원단위를 산출하였다. 건설업의 온실가스 배출 원단위는 0.02 톤CO_{2-eq}/백만원 수준이고, 1996년 이후 2019년까지 원단위의 증감을 반복하면서 연평균 -0.3%로 낮아지는 추이를 보이고 있다.

건설업은 제조업과 달리 주문에 의한 단기 수주산업이며 한정된 토지자원의 의존도가 높고 규격과 성능이 다양한 단품 수주산업, 다공정의 생산활동을 통한 산업활동이라는 점에서 특징이 있다. 최근 건설공사의 대형화 및 복잡화에 기인하여 건설현장에서 건설활동에 소요되는 에너지 소비가 증가하는 추세이다. 정부와 건설업계는 신기후체제에 대응하여 에너지 소비 및 온실가스 배출 저감을 위한 고연비의 건설장비 활용 및 에너지 저감형 건설공법 적용이 요구된다고 할 수 있다(Adolf and Aidan, 2010).

향후, 현재는 수집이 어려운 건설업 업종별 활동 데이터 및 온실가스 배출원 현황 자료에 대한 수집 체계를 마련하고, 건설업의 업종별 온실가스 배출량을 분석하여야 한다. 건설업의 온실가스 배출원에 따른 온실가스 배출 특성에 관한 분석 연구도 필요할 것으로 보인다. 이러한 연구를 통해 정책 의사결정자는 유용한 기반데이터의 활용을 통

해 국내 건설부문의 온실가스 저감 정책 및 기후변화 대응을 위한 정책 수립이 가능하다.

사사

본 논문은 ‘2020 녹색건축 인증지원을 위한 기술연구 사업’의 연구비 지원을 받아 연구되었습니다(과제번호: 20200014-001).

References

- Adolf A. A, Aidan P. D., 2010. Input-output analysis of Irish construction sector greenhouse gas emissions, *Building and Environment*, 45:784-791.
- ECOS (Economic Statistics System), 2021, Statistics of the domestic value of construction orders received [dataset]. Bank of Korea; [accessed 2021 June 30]. <http://ecos.bok.or.kr>.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2009, Potential for Reduction Greenhouse Gas Emissions in the Construction Sector, Washington D.C., USA, 4-8.
- GIR (Greenhouse Gas Inventory and Research Center). 2020 National Greenhouse Inventory Report of Korea. 2020. 12.
- IPCC, 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, 1996.
- Liaodong Li, Yimin Zhu, Zihui Zhang, 2010. An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes, *Building and Environment*, 45:766-775.
- KEEI (Korea Energy Economics Institute). 2020 Yearbook of Energy Statistics, 2020.12
- KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology), 2006, The report of analysis on the green-house gas emission in the construction sector.
- Kim J-Y, Lee S-E, Sohn J-Y., 2004, An estimation of the energy consumption & CO2 emission intensity during building construction. *Journal of the architectural institute of Korea*. 20(10):115-122.
- Korean government. 2011. Newsrelease-the blueprint to achieve the national greenhouse gas reduction targets, the related ministries of Korean governments, Republic of Korea; [updated 2011 June 29; accessed 2021 July 05]. <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardId=178256&boardMasterId=1>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service), 2019, Statistics of Urban Plan [dataset]. Korea Land & Housing Corporation; [updated 2019 Dec; accessed 2020 Sep 28]. http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=315&tblId=TX_315
- Yi C-Y, Gwak, H-S, Lee, D-E, 2014. Methodology for estimating stochastic CO2 Emission for construction operation, *Journal of the architectural institute of Korea*, 310:45-54.
- Yi K-J. 2012. System dynamics modelling of greenhouse gas emission in the transportation and assembly process of construction resources. *Journal of the architectural institute of Korea*. 28(4):115-122.