

도로시설물의 전과정 탄소배출량 산정을 위한 시공단계 탄소배출원단위 구축 Calculation of Basic Unit of Carbon Emissions in Construction Stage of the Road Infrastructure

곽인호 · 김건호 · 조우형* · 박광호* · 황용우**,[†]

In-Ho Kwak · Kun-Ho Kim · Woo-Hyoung Cho* · Kwang-Ho Park* · Young-Woo Hwang**,[†]

인하대학교 대학원 환경안전융합전공 · *에스오알지 지속가능전략연구소 · **인하대학교 환경공학과

Program in ET & ST, Inha University Graduate School

*Research Center of Sustainable Strategy, YESSorg Co., Ltd

**Department of Environmental Engineering, Inha University

(Received October 31, 2014; Revised November 20, 2014; Accepted February 26, 2015)

Abstract : Carbon emissions in construction stage is very high because lots of construction machines and materials are required to be used at a road construction stage. Many researcher carried out application of carbon emissions estimation methodology during the life cycle of road infrastructure in order to reduce greenhouse gas emissions in the road sector. But the calculation of carbon emissions is difficult because data collection is difficult and calculation procedure is complex. In this study, a basic unit of carbon emissions in construction stage of the road infrastructure was developed in order to get the quantitative determination of carbon that occurs. Carbon emissions of the expressway and common state road was calculated by using the basic unit of carbon emissions and application plan of basic unit of carbon emissions are presented.

Key Words : Carbon Emissions, CO₂, Carbon Emission Estimation Methodology, Road Construction, Basic Unit of Carbon Emissions

요약 : 도로는 건설 시 많은 건설자재와 장비를 사용하여 시공단계에서의 탄소배출량이 매우 높다. 도로분야에서의 온실가스 감축을 위하여 도로의 전과정에 걸친 탄소배출량 산정 방법에 대한 연구를 수행하여 탄소배출량 산정방법을 정립하였으나, 수집해야 하는 자료 확보와 산정 절차가 복잡해 탄소배출량 산정에 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 도로시설물의 시공단계에서 발생하는 탄소의 정량적 산정을 쉽게 할 수 있도록 탄소배출원단위를 개발하여 제시하고, 이를 활용하여 2012년 기준으로 고속국도 및 일반국도의 탄소배출량을 정량적으로 산정 후 활용방안을 제시하였다.

주제어 : 탄소배출량, CO₂, 탄소배출량 산정방법, 도로 시공, 탄소배출원단위

1. 서론

기후변화협약 체결 이후 주요 선진국들은 에너지 및 온실가스 감축에 대해 매우 적극적인 입장을 취하고 있다. 온실가스종합정보센터에서 발간한 “2013년 국가 온실가스 인벤토리 보고서”¹⁾에 따르면, 우리나라는 화석연료 의존도가 높은 에너지다소비 산업구조와 사회구조로 2011년 기준 온실가스 배출량 세계 6위(약 698 백만 tCO₂/년)의 온실가스 과다 배출국이다. 이에 따라 정부에서는 “저탄소 녹색성장”의 슬로건 아래 “국가 온실가스 감축 2020년 로드맵 마련”²⁾에서 2020년 배출전망치(BAU, Business As Usual) 대비 30%의 온실가스 감축 목표를 설정하여 제도 기반 구축에 노력을 기울이고 있으며, 건설부문에 2020년도 7% 감축목표를 설정하였다. 이에 따라 국토교통부에서는 사회기반시설 life cycle 전과정에서 배출되는 탄소배출량을 정량적으로 산정하고 관리하기 위해 “시설물별 탄소배출량 평가방안 수립 연구”³⁾를 통해 “시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인”⁴⁾을 제시하였으며, 도로부문에서는 이를 개량하고 발전시켜 탄소중립형 도로 기술 연구단에서 도로시설물의 전과정 탄소

배출량 산정방법을 개발하였다.

하지만 시공단계에서 탄소배출이 가장 높게 나타나는 도로시설물의 탄소배출량을 정량적으로 산정하기 위한 활동 자료의 수집과 분석에 많은 시간이 소요되고, 계산의 복잡성과 관련 탄소배출계수의 부재로 실제 도로시설물의 시공단계 탄소배출량 산정에 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 연구에서는 도로시설물의 시공단계에서 발생하는 탄소의 정량적 산정을 쉽게 할 수 있도록 탄소배출량 산정 과정을 간략화 할 수 있는 탄소배출원단위를 개발하고 탄소배출원단위를 활용하여 2012년 기준 우리나라 고속국도와 일반국도에 대한 탄소배출량을 산정하였다.

2. 기존 연구사례 분석

본 연구에서는 도로시설물의 탄소배출량을 산정한 기존 연구사례를 검토하였으며, 특히 시공단계, 운영단계, 유지관리단계 등 도로의 전과정에 걸쳐 탄소배출량을 산정한 사례 위주로 검토하였다.

[†] Corresponding author E-mail: hwangyw@inha.ac.kr Tel: 032-860-7501 Fax: 032-863-4267

Håkan⁵⁾은 도로의 포장형태별로 아스팔트 포장, 시멘트 포장으로 구분하고 시공단계, 운영 및 유지보수단계에서 발생하는 환경부하를 Road Object 모델을 통해 정량적으로 평가하였다. 아스팔트포장은 공법에 따라 hot method와 cold method로 구분하였고 운영단계에서의 교통량을 종합적으로 고려해 폭 13 m, 연장 1 km 도로를 건설해 40년 동안 운영 시 환경부하를 정량화하였다. 분석 결과 시멘트 포장 도로의 CO₂ 배출량이 가장 높게 나타났으며, 시공단계에서의 CO₂ 배출량이 가장 높은 것으로 나타났다. 이 결과는 특정 사례 하나만을 분석해 결과값을 도출한 것으로 모든 도로를 대표한다고는 할 수 없으나 시공단계를 건설활동별로 세분화하여 분석했다는 것에 큰 의미가 있다.

Yue 등⁶⁾은 아스팔트 포장의 시공 및 유지보수에 대한 LCA (Life Cycle Assessment, 전과정평가) 수행 tool을 개발하였으며, 영국의 London Heathrow (LHR) Terminal-5의 기층, 중간기층, 표층 각각에 투입되는 재료들에 대해 재활용 시나리오별로 사례분석을 수행하였다.

Hwang 등⁷⁾은 왕복 4차로, 연장 1 km 기준 도로건설시 건설장비의 사용에 의해 발생하는 CO₂ 배출량을 정량화하였으며, 도로건설의 전공정을 토공사, 배수공사, 포장공사, 부대공사로 구분하여 CO₂ 배출량을 정량화하였다. 분석 결과 건설장비 중에서는 덤프트럭과 불도저의 CO₂ 배출량이 높게 나타났고, 토공사에서 장비에 의한 배출이 가장 높은 것으로 나타났다.

Park 등⁸⁾은 고속도로의 전과정 즉, 건설시 투입되는 건설자재의 생산단계, 시공단계, 유지보수단계 그리고 해체 및 재활용단계에서 발생하는 환경부하를 정량적으로 평가하였다. 각 단계에서의 환경부하량은 단계별 에너지소비량에 에너지원별 환경오염물질 배출계수를 적용해 산정하였고, 그 결과를 탄소배출량으로 환산하여 분석하였다. 건설자재 생산단계에서의 에너지소비량이 가장 높게 나타났으며, 에너지소비량에 환경오염물질 배출계수를 적용한 탄소배출량 역시 건설자재 생산단계에서 가장 높은 것으로 나타났다.

Kwak 등⁹⁾은 탄소중립형 녹색도로 건설을 위한 도로의 전 과정을 시공, 운용, 해체 및 재활용 단계로 구분하고 각 단계별로 탄소배출량 산정방법을 제시하고 현재 건설 중인 도로 일부 구간에 대해 사례분석을 수행하였다. 또한, 사례분석을 통해 도출된 탄소배출 원단위를 이용해 2020년까지 국내 도로에서의 누적탄소배출량을 예측하고 탄소배출량 산정 방법의 보완 방향에 관해 제시하였다.

3. 도로시설물 시공단계 탄소배출량 산정 방법

도로시설물의 시공단계 탄소배출량은 Fig. 1과 같이 평가 대상 및 범위설정, 데이터 수집 및 분석, 탄소배출량 산정의 3가지 단계로 산정된다. 평가 대상 및 범위설정은 평가하고자 하는 대상과 범위를 결정하는 단계이며, 데이터 수집 및 분석은 분석하고자 하는 대상의 활동 자료를 수집하고 계산을 위해 가공하는 단계이다. 마지막으로 탄소배출량 산정은 탄소배출계수와 배출량 산정식을 결정하고 정량적인 탄소배출량을 산정하는 단계이다.

3.1. 평가 대상 및 범위 설정

평가 대상은 고속국도, 일반국도 등 차량이 이동할 수 있는 도로시설물로 구간에 따라 교량, 터널 등의 구조물을 포함할 수 있으며 탄소배출량 산정 시 기후변화협약에서 제시한 온실가스에 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential) 값을 적용하여 CO₂-equivalent (CO₂-eq.)¹⁰⁾로 산정하였다.

시공단계의 평가 범위는 Table 1과 같이 건설 시 투입되는 자재와 자재 운반 및 장비사용에 따른 에너지 소비를 평가 범위에 포함하며, 공사 중 발생하는 폐기물의 처리와 재활용 등을 추가로 설정할 수 있다.

3.2. 데이터 수집 및 분석

3.2.1. 데이터 수집

시공단계 탄소배출량을 산정하기 위해서는 다음과 같은 데이터를 수집해야 하며, 이를 이용해 자재투입량, 장비사용량 산정 등의 데이터 분석을 실시하였다.

- 실시설계내역서(보고서) 또는 도급 내역서
- 설계내역서의 정보가 포함된 적산 프로그램 파일
- 일위대가 목록, 호표 및 산근
- 중기사용내역서, 중기기초자료
- 소요자원집계표

Table 1. Assessment boundaries for construction stage of road

Boundary	Target	Details
Construction work of target road included tunnel and bridge	Input materials	Cement, ready-mixed concrete and etc.
	Construction machines	Bulldozer, dump truck and etc.

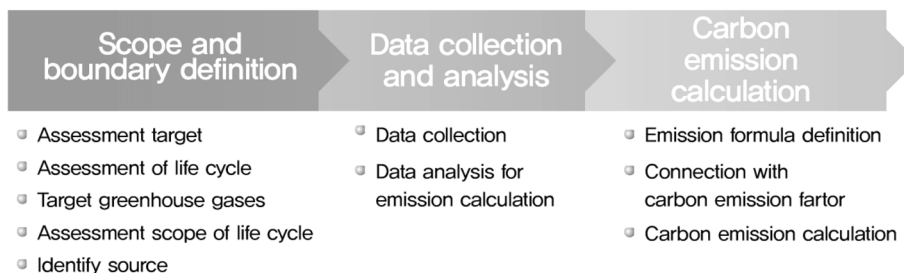


Fig. 1. Framework of carbon emissions in construction stage.

3.2.2. 데이터 분석

도로시설물의 시공단계 탄소배출량은 크게 자재 투입과 장비 사용으로 구분하여 산정되기 때문에 자재투입량은 데이터 수집단계에서 수집한 설계내역서, 일위대가 호표 및 산근 등을 활용하여 식 (1)을 이용해 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{자재투입량(ton, m}^3 \text{ 등)} \\ & = \text{내역서 작업량(unit)} \times \text{자재 투입물량(ton, m}^3 \text{ 등/unit)} \quad (1) \end{aligned}$$

장비 사용에 의한 탄소배출량은 장비 사용시간에 따른 에너지 사용량을 기반으로 산정되며, 수집한 데이터(설계내역서, 일위대가 등)의 형태에 따라 식 (2) 또는 (3)을 이용해 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{장비 사용에 따른 에너지 사용량(L)} \\ & = \text{작업량(unit)} / \text{시간당 작업량(unit/hr)} \times \text{연비(L/hr)} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{장비 사용에 따른 에너지 사용량(L)} \\ & = \text{작업량(unit)} \times \text{장비 사용시간(hr/unit)} \times \text{연비(L/hr)} \quad (3) \end{aligned}$$

3.3. 탄소배출량 산정

도로시설물의 시공단계 탄소배출량 산정은 자재투입에 의한 탄소배출량과 장비 사용에 따른 탄소배출량을 구분하여 산정하였다. 자재투입에 따른 탄소배출량은 데이터 분석 단계에서 산정한 자재투입량과 해당 자재의 탄소배출계수의 곱으로 산정하며 산정식은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} & \text{자재투입에 따른 탄소배출량(tCO}_2\text{-eq.)} \\ & = \sum[\text{자재투입량(kg, m}^3 \text{ 등)} \\ & \quad \times \text{배출계수(kgGHG(CO}_2\text{/CH}_4\text{/N}_2\text{O)/kg, m}^3 \text{ 등)} \\ & \quad \times \text{지구온난화지수}] \quad (4) \end{aligned}$$

장비사용에 따른 탄소배출량은 2006 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 가이드라인¹¹⁾에 따라 식 (5)와 같이 에너지원별 순발열량, 배출계수 및 지구온난화지수의 곱으로 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{장비 사용에 따른 탄소배출량(tCO}_2\text{-eq.)} \\ & = \sum[\text{에너지 사용량(kWh, m}^3 \text{ 등)} \times \text{순발열량(MJ/kWh, m}^3 \text{ 등)} \\ & \quad \times \text{배출계수(kgGHG(CO}_2\text{/CH}_4\text{/N}_2\text{O)/TJ)} \times 10^{-9} \\ & \quad \times \text{지구온난화지수}] \quad (5) \end{aligned}$$

상기의 과정에 따라 공종별 자재투입 및 장비사용에 따른 탄소배출량을 산정한 후 그 결과를 합산하여 공종별 탄소배출량을 산정하며, 공중에 자재투입 또는 장비사용에 따른 탄소배출량이 하나만 존재할 경우 그 값이 해당 공종의 탄소배출량이 된다. 도로는 터파기 등의 토공사를 필두로 최종 포장까지 공통공사, 배수 및 옹벽공사, 교량공사, 터널공사 등의 일련의 과정을 통해 건설되며, 각각의 공사는 하위 level의 공종들로 이루어져 있기 때문에 공종별 탄소배출량을 산정한 후 해당 사례의 시공단계 공종체계에 따라 공종별 탄소배출량을 합산하여 상위 공종, 공사별 탄소배출량을 산정할 수 있다.

4. 도로시설물 탄소배출원단위 구축

본 연구에서 구축한 탄소배출 원단위의 범위를 Fig. 2에 나타내었다. 기존의 도로시설물 시공단계 탄소배출량 산정 방법은 설계내역서, 일위대가 등의 데이터를 수집하여 공종별 자재 및 장비사용량을 산정한 후 탄소배출계수를 연동하여 탄소배출량을 산정하는 과정을 거치게 되어 탄소배출량 산정 시 시간과 인력이 많이 투입되는 단점이 있다. 따라

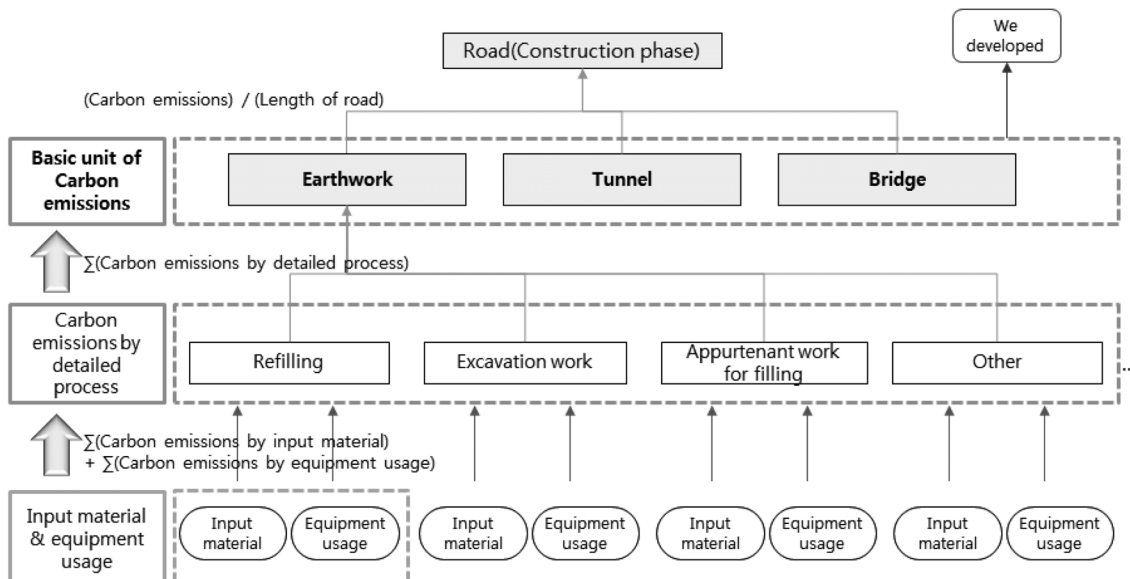


Fig. 2. Overview of basic unit of carbon emissions in construction stage.

서 본 연구에서는 토공, 터널, 교량의 구간별 연장정보만으로 탄소배출량을 정량적으로 산정할 수 있도록 탄소배출원단위를 구축하였다.

4.1. 탄소배출원단위 구축을 위한 사례분석

탄소배출원단위는 현재 건설되어 운영 중이거나 건설 중인 도로에 대해 사례분석을 수행하고, 사례분석 결과를 활용하여 구축된다. 따라서 본 연구에서는 도로의 시공단계 탄소배출량 산정 방법에 따라 고속국도, 일반국도에 대해 사례분석을 수행하였다.

국토교통부의 도로현황조사¹²⁾에 따르면, 고속국도와 일반국도 중 왕복 4차로인 구간이 각각 63.9%, 46.4%를 차지하는 것으로 나타났다. 따라서, 사례분석은 Table 2와 같이 왕복 4차로 기준 고속국도, 일반국도 각 5개씩 수행하였고, 상세 원단위 구축을 위해 토공구간, 터널구간, 교량구간으로 구분하여 수행하였다.

Table 3 및 4에 고속국도와 일반국도의 사례분석 결과를 나타내었다. 고속국도의 탄소배출량 산정 결과 건설시 시멘트, 철근 등의 자재 투입량이 많은 터널구간에서 전체의 약

Table 2. Project overview of targeted expressway and common state road

Section	Length
Expressway	A Total length 4.06 km (bridge 1.41 km and tunnel 1.32 km)
	B Total length 1.86 km (bridge 2.90 km)
	C Total length 7.42 km (tunnel 7.14 km)
	D Total length 1.60 km (bridge 0.46 km)
	E Total length 13.00 km (bridge 3.88 km and tunnel 1.37 km)
Common state road	F Total length 13.86 km (bridge 1.47 km and tunnel 0.53 km)
	G Total length 6.14 km (bridge 1.75 km)
	H Total length 3.90 km (bridge 0.82 km and tunnel 0.92 km)
	I Total length 6.50 km (bridge 1.61 km and tunnel 3.55 km)
	J Total length 11.16 km (bridge 0.84 km and tunnel 1.75 km)

* Earthwork length = Total length - bridge - tunnel

Table 3. Results of total carbon emissions in each expressway

Section	Carbon emissions (tCO ₂ -eq.)*			
	Earthwork	Tunnel	Bridge	Total
A	3,341.43	19,275.74	17,341.56	39,958.73
B	3,546.31	-	18,548.08	22,094.39
C	5,923.04	65,455.02	-	71,378.05
D	7,874.31	-	16,041.55	23,915.86
E	13,647.10	51,769.44	49,479.70	114,896.25
Total	34,332.19	136,500.20	101,410.89	272,243.29

* Include CO₂, CH₄, N₂O (calculated by applying GWP 100)

Table 4. Results of total carbon emissions in each common state road

Section	Carbon emissions (tCO ₂ -eq.)*			
	Earthwork	Tunnel	Bridge	Total
F	43,957.16	11,993.84	27,745.05	83,696.05
G	23,145.50	-	9,038.37	32,183.87
H	1,399.85	7,611.69	5,319.72	14,331.26
I	5,176.71	65,276.57	36,573.65	107,026.92
J	25,276.22	32,065.75	14,582.32	71,924.29
Total	98,955.44	116,947.85	93,259.10	309,162.39

* Include CO₂, CH₄, N₂O (calculated by applying GWP 100)

Table 5. Results of basic unit of carbon emissions in the construction stage of expressway

Area	Carbon emissions* (tCO ₂ -eq.)	Length** (km)	Basic unit of carbon emissions (tCO ₂ -eq./km)
Earthwork	34,332.19	12.36	2,778.81
Tunnel	136,500.20	9.83	13,883.26
Bridge	101,410.89	8.66	11,717.03
Total	272,243.29	30.85	8,827.03

* Total carbon emissions in each area (refer to table 3)

** Total length in each area (refer to table 2)

50%에 해당하는 136,500.20 tCO₂-eq.가 배출되어 가장 높게 나타났다.

일반국도의 탄소배출량 산정 결과 전체 연장 중 대부분을 차지하는 토공구간과 건설시 시멘트, 철근 등의 자재 투입량이 많은 터널구간에서 각각 98,955.44 tCO₂-eq., 116,947.85 tCO₂-eq.가 배출되어 해당구간에서 전체의 약 70%를 차지하는 것으로 나타났다.

4.2. 탄소배출원단위 구축 결과

4.2.1. 고속국도

탄소배출원단위는 식 (6)을 이용하여 구축하였고, 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

$$\text{도로 구간별 탄소배출원단위(tCO}_2\text{-eq./km)} = \frac{\text{사례분석 대상 도로 구간별 총 탄소배출량(tCO}_2\text{-eq.)}}{\text{사례분석 대상 도로 구간별 총 연장(km)}} \quad (6)$$

고속국도의 토공, 터널, 교량구간 탄소배출원단위 산정결과 토공구간 2,778.81 tCO₂-eq./km, 터널구간 13,883.26 tCO₂-eq./km, 교량구간 11,717.03 tCO₂-eq./km으로 나타났으며, 터널·교량이 포함된 왕복 4차로 기준 고속도로 1 km 건설시 탄소배출원단위는 8,827.03 tCO₂-eq./km로 나타났다.

4.2.2. 일반국도

고속국도와 마찬가지로 탄소배출원단위는 식 (6)을 이용하여 구축하였고, 그 결과를 Table 6에 나타내었다.

일반국도의 토공, 터널, 교량구간 탄소배출원단위 산정결

Table 6. Results of basic unit of carbon emissions in the construction stage of common state road

Area	Carbon emissions* (tCO ₂ -eq.)	Length** (km)	Basic unit of carbon emissions (tCO ₂ -eq./km)
Earthwork	98,955.44	28.32	3,493.70
Tunnel	116,947.85	6.75	17,325.61
Bridge	93,259.10	6.48	14,385.02
Total	309,162.39	41.55	7,439.48

* Total carbon emissions in each area (refer to table 4)

** Total length in each area (refer to table 2)

과 토공구간 3,493.70 tCO₂-eq./km, 터널구간 17,325.61 tCO₂-eq./km, 교량구간 14,385.02 tCO₂-eq./km으로 나타났으며, 터널·교량이 포함된 왕복 4차로 기준 고속도로 1 km 건설시 탄소배출원단위는 7,439.48 tCO₂-eq./km로 나타났다.

5. 탄소배출원단위 활용 탄소배출량 산정

5.1. 탄소배출원단위 활용 탄소배출량 산정방법

도로의 시공단계 탄소배출량 산정은 도로 건설시 투입되는 자재와 장비의 양을 정량적으로 분석하고, 분석된 결과를 탄소배출계수를 이용하여 탄소배출량을 환산하는 일련의 반복적인 과정을 거친다. 즉, 도로를 건설하기 위해서는 장비와 자재가 투입되는 수천 개의 공종들의 장비사용량과 자재투입량을 산출한 후 소비된 자재의 탄소배출계수와 장비의 에너지원에 대한 탄소배출계수를 곱하는 과정의 반복이다. 신뢰도 높은 탄소배출량을 산정하기 위해서는 이러한 반복적인 과정을 되풀이해야 하지만, 그 데이터의 방대함과 복잡성 때문에 실제 도로 설계자 또는 시공자가 도로의 시공단계 탄소배출량을 산정하기에 많은 어려움이 있다. 본 연구를 통해 구축된 탄소배출량 원단위는 이러한 복잡한 과정을 통해 산정된 탄소배출량 자료를 이용한 것으로 이를 활용하면 분석하고자 하는 대상의 구간별 연장 정보를 이용해 식 (7)과 같이 구간별 연장과 탄소배출원단위의 곱으로 탄소배출량을 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{도로 시공단계 탄소배출량(tCO}_2\text{-eq.)} \\ & = \text{대상 도로 구간별 연장(km)} \\ & \times \text{탄소배출원단위(tCO}_2\text{-eq./km)} \end{aligned} \quad (7)$$

5.2. 국내 도로시설물 시공단계 탄소배출량 산정결과

본 연구를 통해 구축된 탄소배출원단위를 이용하여 국내 고속국도 전구간에 대한 탄소배출량 산정을 위해 필요한 도로 연장길이는 국토교통부의 “도로교량 및 터널현황”¹³⁾을 이용하였고, 고속국도의 시공단계 탄소배출량 산정결과를 Table 7 및 Fig. 3에 나타내었다.

2012년 기준 고속국도 구간별 탄소배출량 산정 결과 교량구간의 탄소배출량이 12,971,923 tCO₂-eq.로 전체 배출량 중 40%를 차지하여 가장 높게 나타났으며 그 이후 토공, 터널구간의 순으로 나타났다.

Table 7. Results of carbon emissions on construction stage of expressway in Korea(2012)¹³⁾

Area	Length* (km)	Basic unit of carbon emissions (tCO ₂ -eq./km)	Carbon emissions (tCO ₂ -eq.)
Earthwork	4,043.60	2,778.81	11,236,394
Tunnel	606.00	13,883.26	8,413,254
Bridge	1,107.10	11,717.03	12,971,923
Total	5,756.70	-	32,621,572

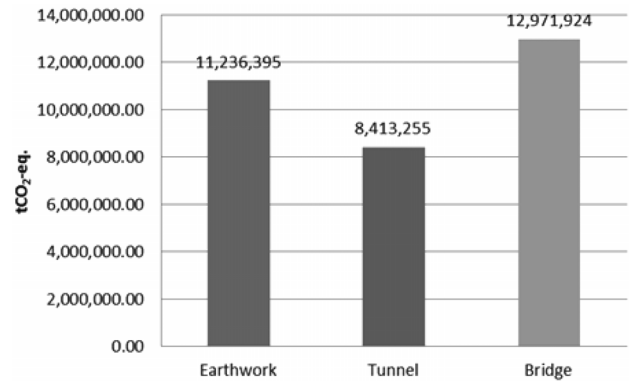


Fig. 3. Results of carbon emissions on construction stage of expressway in Korea(2012).

고속국도와 마찬가지로 일반국도의 탄소배출원단위를 활용하여 일반국도의 탄소배출량을 산정하여 그 결과를 Table 8 및 Fig. 4에 나타내었다.

2012년 기준 일반국도 구간별 탄소배출량 산정 결과 토공구간의 탄소배출량이 48,094,339 tCO₂-eq.로 전체 배출량 중 76%를 차지하여 가장 높게 나타났으며 그 이후 교량, 터널

Table 8. Results of carbon emissions on construction stage of common state road in Korea(2012)¹³⁾

Area	Length* (km)	Basic unit of carbon emissions (tCO ₂ -eq./km)	Carbon emissions (tCO ₂ -eq.)
Earthwork	13,766.0	3,493.70	48,094,339
Tunnel	298.0	17,325.61	5,163,030
Bridge	686.2	14,385.02	9,870,997
Total	14,750.2	-	63,128,367

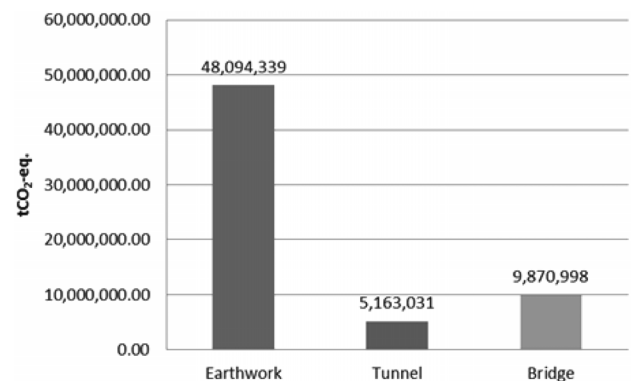


Fig. 4. Results of carbon emissions on construction stage of common state road in Korea(2012).

구간의 순으로 나타났다.

고속국도와 일반국도에 대해 각 구간별 탄소배출 원단위를 활용하여 향후 건설예정인 도로에 대해 탄소배출량을 정량적으로 예측해 저감계획 수립이 용이할 것으로 사료된다.

6. 결론

본 연구에서는 고속국도 및 일반국도의 시공단계 탄소배출량 산정 시 활용 가능한 탄소배출원단위를 구축하고 탄소배출원단위를 활용하여 2012년 기준 국내 고속국도 및 일반국도 전구간의 탄소배출량을 산정하였다.

고속국도 및 일반국도의 탄소배출원단위 산정을 위하여 각각 5개 사례의 탄소배출량을 산정하였으며 토공, 터널, 교량구간별 연장길이를 활용하여 탄소배출원단위를 구축하였다. 고속국도의 탄소배출원단위 구축 결과, 터널구간의 탄소배출원단위가 13,883.26 tCO₂-eq./km로 가장 높게 나타났으며 교량구간이 11,717.03 tCO₂-eq./km, 토공구간이 2,778.81 tCO₂-eq./km의 순으로 나타났다.

일반국도의 탄소배출원단위 또한 고속국도와 유사하게 터널 및 교량구간의 탄소배출원단위가 높게 산정되었다. 터널구간의 탄소배출원단위가 17,325.61 tCO₂-eq./km로 가장 높게 나타났으며 교량구간이 14,385.02 tCO₂-eq./km, 토공구간이 3,493.70 tCO₂-eq./km의 순으로 나타났다.

또한 본 연구를 통해 구축한 탄소배출원단위를 적용하여 2012년 기준 건설된 고속국도 및 일반국도에 대해 탄소배출량을 산정하였다. 산정결과 고속국도의 탄소배출량은 32,621,572 tCO₂-eq.로 분석되었으며 일반국도의 탄소배출량은 63,128,367 tCO₂-eq.로 분석되었다.

본 연구를 통해 구축한 고속국도, 일반국도의 탄소배출원단위를 활용하여 도로부문 탄소배출량을 간단하게 정량화할 수 있으며 탄소배출량의 정량화를 통해 도로부문 탄소배출 저감 목표 설정 시 활용 가능하다.

본 연구에서 구축한 탄소배출원단위는 고속국도 및 일반국도 각 5개 사례를 바탕으로 구축된 결과이다. 하지만 도로 건설시 같은 구간이라고 하더라도 설계속도, 차로수, 공법의 선택 그리고 지리적 여건에 따라 공종이 달라져 투입되는 자재와 장비가 달라지기 때문에 구축된 탄소배출원단위를 모든 도로에 적용하기에는 한계가 있다. 또한, 시간이 지남에 따라 달라지는 건설재료와 건설기술이 반영되지 않은 탄소배출원단위이므로 이를 보완하기 위한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이를 보완하기 위해서는 다수의 사례분석을 통해 도로 시설물의 탄소배출 원단위를 공사별, 공법별, 공종별로 구분하여 재구축할 필요가 있으며, 이를 통해 주요 탄소배출원에 대한 저감 기술의 개발과 함께 향후 건설되는 고속국도와 일반국도에 대해 탄소배출량을 정량적으로 예측하는 한편 사용되는 원단위에 대한 신뢰성 확보 방안을 수립해야 할 것이다. 또한, 도로의 life cycle 중 운영, 유지관리 단계에 대한 탄소배출 원단위를 추가적으로

구축해 도로의 life cycle 전과정에 대한 종합적인 관리 방안을 수립해야 할 것이다.

Acknowledgement

본 논문은 국토교통과학기술진흥원의 ‘탄소중립형 도로 기술개발연구’의 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

KSEE

References

1. Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2013 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea(2013).
2. Ministry of Environment, “National Greenhouse Gas Emissions Reduction Roadmap 2020,” p. 6(2014).
3. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “A study on the calculation of carbon emissions in each facilities,” pp. 288~319(2011).
4. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Guideline for calculation of carbon emissions in each facilities,” pp. 7~26(2011).
5. Håkan, S., Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis, Second Revised Edition, IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.(2001).
6. Yue, H., Roger, B. and Oliver, H., “Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements,” *J. Cleaner Product.*, **17**, 283~296(2009).
7. Hwang, Y. W., Park, K. H. and Seo, S. W., “Assessment of CO₂ Emissions from Road Construction Activities,” *J. Korean Soc. Civil Eng.*, **20**(II-1), 113~121(2000).
8. Park, K. H., Hwang, Y. W., Seo, S. W. and Seo, H. J., “Quantitative Assessment of Environmental Impacts on Life Cycle of expressways,” *J. Construct. Eng. Manage., ASCE*, **129**(1), 25~31(2003).
9. Kwak, I. H., Park, K. H., Hwang, Y. W. and Park, J. H., “Development and Application of Carbon Emissions Estimation Methodology during the life cycle of road,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **34**(6), 382~390(2012).
10. IPCC, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA p. 33(2007).
11. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Dan Tanabe, K.(eds), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan(2006).
12. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Yearbook of Road Statistics(2013).
13. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Road Bridge and Tunnel Statistics(2013).