

## 급경사지 정비사업에 따른 탄소배출량 산정

# Evaluation of Carbon Emissions According to the Steep Slope Maintenance Project

주진걸\* · 이정민\*\* · 박무중\*\*\*

Joo, Jingul\*, Lee, Jungmin\*\*, and Park, Moojong\*\*\*

### Abstract

Reducing carbon emissions due to climate change has emerged as a national objective. To achieve carbon-free emissions nationally by 2050, evaluating and reducing carbon emissions is essential for efficient disaster management. In this study, a method for quantitatively evaluating carbon emissions in disaster management projects was proposed. Disaster management projects were divided into detailed processes, and in each process, the extent of equipment operation and amount of raw material used for unit construction work were presented using standard production of construction work. The carbon emissions resulting from equipment operation and material usage were based on the standards given by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport. Finally, amount of carbon emissions for unit construction volume during each detailed process were estimated. Using developed methods, carbon emissions were calculated at the steep slope maintenance project. The results indicated that 89.4% of the total carbon emissions were generated from pouring concrete, such as cement and ready-mixed concrete. Thus, reduction of cement and concrete usage is essential for reducing carbon emissions in disaster management projects.

**Key words** : Disaster Management Project, Carbon Emissions, Climate Change, Steep Slope

### 요 지

기후변화로 인한 탄소배출저감이 국가적 과제로 대두되었다. 2050년 국가 탄소제로배출을 달성하기 위하여 재난관리 분야에서의 탄소배출량 평가 및 저감이 필수적이다. 본 연구에서는 재난관리 분야 사업에서 탄소배출량을 정량적으로 평가하기 위한 방법을 제안하였다. 재난관리분야 사업을 세부 공정별로 구분하였으며, 각 세부공정에서 단위 공사량 수행을 위한 장비 운영량과 재료 사용량 원단위를 표준품셈을 사용하여 제시하였다. 장비 운영과 재료 사용에 따른 탄소배출량은 국토해양부의 표준을 따랐다. 최종적으로 세부공정별 단위 공사량 수행시 발생하는 탄소배출량을 제시하였다. 제안된 방법을 급경사지 정비사업에 적용하여 탄소배출량을 산정하였다. 그 결과 총 탄소 배출량의 89.4%가 시멘트 및 레미콘 등 콘크리트 타설에서 발생하는 것으로 나타났다. 추후 재난관리사업에서 재료 사용시 시멘트 및 콘크리트 사용량의 절감이 탄소배출량 감소에 필수적일 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 재난관리 사업, 탄소배출, 기후변화, 급경사지

## 1. 서 론

지구온난화로 인한 이상기후 및 극한 기후사상이 전 세계적으로 발생하고 있으며, 이로 인한 자연재해가 급증하고

있다. 스페인과 프랑스는 2019년 6월 45.9 °C를 기록하여 관측사상 최고의 폭염을 기록했으며, 러시아는 2019년 일본 홋카이도가 기온 39.5 °C, 2020년 6월 시베리아 기온이 38 °C를 기록해 각각 관측사상 최고기온을 갱신했다. 호주에서

\*정희원, 동신대학교 토목환경공학과 부교수(Tel: +82-61-330-3137, Fax: +82-61-330-3138, E-mail: jgjoo@dsh.ac.kr)

Member, Associate Professor, Department of Civil Environmental Engineering, Dongshin University

\*\*정희원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 건설안전연구실 수석연구원(E-mail: andrew4502@lh.or.kr)

Member, Research Fellow, Construction Safety Research Department, Land & Housing Institute

\*\*\*교신저자, 정희원, 한서대학교 토목공학과 정교수(Tel: +82-41-660-1051, Fax: +82-41-660-1119, E-mail: mjpark@hanseo.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

2019년 9월 시작된 산불은 해가 넘겨 2020년 2월까지 지속되며 한반도 면적의 85%에 달하는 18만 km<sup>2</sup>의 산림을 불태웠으며, 2020년 여름 캘리포니아에서는 4,000 km<sup>2</sup>의 산불이 발생해 역대 두 번째 규모를 기록하였다. 모잠비크와 짐바브웨에서는 2019년 사이클로 ‘이다이’로 인해 780여 명 사망, 180만여 명 이재민이 발생하였고, 같은 해 브라질 동부에서 발생한 폭우와 강풍은 6명의 목숨을 앗아갔다. 2020년 여름 중국에서의 홍수는 6천만 명의 이재민과 30조 원의 경제손실을 발생시켰다.

우리나라도 최근 30년간 평균온도가 1.4 °C 상승하여 온난화가 급격하게 진행되고 있으며, 이로 인한 극한 기상현상이 빈번하게 발생하고 있다. 2018년은 평년기온보다 무려 1.8 °C나 높아, 관측 이래 평균기온이 가장 높은 해로 기록되었으며, 2019년은 겨울은 평년보다 2.5 °C 높아 가장 따뜻한 겨울로 기록되었다. 또한, 2020년은 역대 가장 긴 장마가 지속되어 중부지방 기준 54간이나 장마가 지속되었다. 극한 기상현상과 그로 인한 재해는 지구촌 어디서나 흔한 일상이 되고 있으며, 이러한 재해는 온난화가 가파르게 진행되면서 더욱 가혹해질 것으로 전망된다.

세계 각국은 지금의 기후위기를 심각한 문제로 인지하고 있으며, 기후변화에 대응하기 위하여 1997년 교토의정서를 채택하였고, 2015년 선진국과 개발도상국 모두의 참여하는 파리협정을 채택하였다. 파리협정은 전 지구적인 기후변화에 대응하기 위한 목표를 제시한 것으로 지구의 평균온도 상승을 산업화 이전 대비 2 °C 이내, 장기적 1.5 °C 이내로 제한하는 것을 목표로 한다. 기온상승 억제 목표를 달성하기 위하여 ‘기후변화에 관한 정부 간 협의체’(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 제48차 IPCC 총회에서 2030년까지 2010년 대비 CO<sub>2</sub> 배출량을 45% 이상 감축하고, 2050년에는 순수 탄소배출량을 제로(탄소중립)를 달성할 것을 목표로 제시하였다. 이를 달성하기 위하여 각국은 국가 온실가스 감축목표(NDC)를 제출하고, 장기 저탄소 발전전략을 수립해야 한다.

우리나라도 2020년 에너지, 건물, 산업, 수송, 폐기물, 농축수산, 탄소흡수원 등 7개 분야의 탄소저감 계획이 포함된 LEDS (지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소 중립전략)를 수립하였다. 이에 따라 정부 각 부처는 관련사업의 수행에 따른 탄소발생저감계획을 수립하고 있다.

재난관리분야는 탄소가 많이 발생하는 분야로 인식되고 있으며, 2050년 탄소제로 계획에 맞춰 탄소배출량을 점차적으로 감소시켜야 한다. 그러나 현재는 재난관리사업에 따른 탄소배출 총량에 대한 정보가 없을 뿐만 아니라, 재난관리사업시 배출되는 탄소량을 산정하기 위한 방법조차 정립되지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 재난관리 사업과 관련된 활동에 의한 탄소 배출량 산정방법에 대한 선행연구를 검토하고, 이를 바탕으로 국가 재난관리사업에서 배출하는 탄소량을 평가할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 개발된 방법을

급경사지 정비사업에 적용하여 재난 관리사업으로부터의 탄소배출량을 평가하고자 한다.

## 2. 탄소배출량 평가를 위한 방법 분석

인간활동에 의한 탄소발생 및 배출관련 연구는 다양하게 진행된 바 있다. 본 연구에서는 전국의 재난관리사업에서 발생하는 탄소배출량 산정에 적용하기 위한 방법론을 개발하는 것으로, 개별 연구자에 의한 방법보다는 공식력 있는 자료를 바탕으로 검토를 수행하였다. 탄소배출량 조사는 건설자재 및 재료 생산에 따른 탄소배출과 건설장비 운영에 따른 탄소배출량으로 구분하여 수행하였다.

### 2.1 건설자재 및 원료 사용에 따른 탄소배출량 산정법

Kim et al. (2004)은 국제표준화기구(ISO)의 전과정평가(Life cycle assesment) 기법을 사용하여 건물의 생애주기 단계별 에너지 소비량을 분석하였으며, 이를 통해 건설자재 및 시공단계에서 에너지소비량 및 이산화탄소 배출량 원단위를 제시한 바 있다. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012)는 항만, 도로, 철도, 건축물, 댐, 하천정비, 도시재생 등 개별 구조물에 대하여 계획, 설계, 시공(이하 자재생산)을 포함한다), 운용, 해체 및 재활용의 생애주기 단계별로 탄소배출량을 산정하는 방법을 제시한 바 있다. WBCSD (World Business Council for Sustainable Development, 세계지속가능발전기업 협의회)의 WBCSD (2011)는 시멘트 CO<sub>2</sub> 프로토콜을 통해 시멘트 생산에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량의 계산 및 보고를 위한 방법론을 제시한 바 있다. KATS (2015)은 KS Q ISO 14064-1를 활용하여 온실가스 배출 정량화 방법을 제시하고, 탄소배출량 산정 개념, 지침 및 예제(<https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72059229255160589>)를 제시하였다. 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)는 EBC 2016 (Evaluation of Embodied Energy and CO<sub>2</sub>eq for Building Construction)을 통해 건물 건설에 필요한 공중별 에너지 사용 및 온실가스 배출량을 제시하였다.

### 2.2 건설장비 운영에 따른 탄소배출량 산정법

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012)는 온실가스배출계수와 IPCC 4차 보고서를 기준으로 중장비 운영시 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량 제시하였다. 유럽 자동차 제조협회(ACEA, 2020)는 유럽 시장에서 생산된 중형 트럭의 CO<sub>2</sub> 배출량을 제시한 바 있다. 다만, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012)와 ACEA (2020)는 적재량, 운행 조건 등은 고려하지 않고, 장비의 규격에 따른 운행시간별 CO<sub>2</sub> 배출량이 동일한 것으로 가정하였다. Tian et al. (2016), Seo et al. (2016), Wang et al. (2021)은 적재 하중에 따른 트럭의 연료사용량 변화를 반영하여, 중차량에서의 CO<sub>2</sub>

배출량을 산정하였다.

### 3. 재난관리 사업에 따른 탄소배출량 평가방법

자연재해저감종합계획은 재해종류별 위험지구를 선정하고, 해당 위험지구의 재해피해를 방지 및 저감하기 위한 대책을 수립한다. 급경사지 정비사업 수행 위치 등에 대한 개략적인 계획만 수립할 뿐, 구체적인 물량과 관련된 계획은 수립하지 않는다. 따라서 계획서의 개략 물량만으로 실제 사용될 재료 및 장비 등의 세부 수량을 추정해야 한다. 이에 재난관리사업에 대한 투입물량 산정을 위하여 개별 사업을 세부 공정으로 구분하였다. 이후 각 공정의 개략 공사량을 수행하기 위한 재료와 장비 사용량 등 세부 수량을 국토교통부에서 매년 발간하는 건설공사 표준품셈을 활용하여 계산한다. 개별 재료 생산 및 장비 운영에 따른 탄소배출량은 국토해양부 시설물별 탄소배출량 산정가이드라인(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012)의 값을 사용하여 원단위를 산정하였다. 재난관리 사업에 따른 탄소배출량 평가 순서는 다음과 같다.

- 1) 재난관리 사업을 세부 공정으로 구분
- 2) 각 공정별 공사량에 따른 재료 및 장비투입량 산정 : Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Korea Institute of Construction Technology (2020) 활용
- 3) 각 재료, 장비별 탄소배출량 원단위 산정 : Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012) 활용하여 결정
- 4) 2)와 3)을 곱하여 각 공정별 탄소배출량 산정

#### 3.1 절성토 및 유용성토 공정의 장비사용 원단위

절토 및 성토 공정은 별도의 재료가 투입되지는 않으며, 장비(굴삭기)만 사용하여 공정이 이루어진다. 2021 건설공사 표준품셈(국토교통부)에서는 절성토에 사용되는 굴삭기 사용량을 Eq. (1)과 같이 제시하고 있다.

$$Q = \frac{3,600 \times q \times k \times f \times E}{cm} \quad (1)$$

여기서, Q : 시간당 작업량(m<sup>3</sup>/hr), q : 버킷용량(m<sup>3</sup>),  
f : 체적환산계수, E : 작업효율, K : 버킷계수,  
cm : 1회 싸이클 시간(초)

버킷계수(K)는 현장조건에 따라 1.10 (용이하게 굴착할 수 있는 연한 토질로서 버킷에 산적으로 가득찰 때가 많은 조건이 좋은 모래, 보통토인 경우)-0.50 (버킷에 넣기 어렵고 불규칙한 공극이 생기는 것으로서 발파 또는 리퍼작업 등에 의하여 얻어진 암과 파쇄암, 호박돌, 역 등인 경우) 등으로 제시된다. 급경사지 정비사업의 경우 약간 단단한 토질로서 버킷에 거의 가득 채울 수 있는 모래, 보통토 및 조건이 좋은 점토인 경우로 가정하여 버킷계수 K = 0.9로 가정한다. 작업효율(E)은 토질 종류와 현장조건에 따라 0.35 (지반이 단단하고 작업 방해가 많은 파쇄암)-0.90 (지반이 무르고 연속작업이 가능한 모래, 사질토)등으로 제시된다. 급경사지 정비사업의 현장조건은 토질의 조건이 보통인 흐트러진 상태와 모래 및 사질토로 가정하여 작업효율 E = 0.75로 가정하였다.

굴삭기의 1회 싸이클 시간(cm)은 회전각도와 버킷 규격에 따라 13 cm (회전각도 45°, 버킷 0.12-0.4 m<sup>3</sup>)-30 cm (회전각도 180°, 버킷 2.0 m<sup>3</sup> 이상) 등으로 제시된다. 급경사지 정비사업의 현장조건은 1회 싸이클 시간은 135도 회전, 버킷용량 0.8 m<sup>3</sup>로 가정하여 cm = 20초로 가정하였다.

체적환산계수는 지반의 다짐정도에 따라 달라지며, 절토 인지 성토인지에 따라서도 변경된다. 본 과업에서는 절성토에 따른 흙의 체적변화는 별도로 고려하지 않고 체적환산계수를 1로 가정하였다.

따라서, 굴삭기 버킷 1 m<sup>3</sup>의 시간당 작업량은 Eq. (2)와 같이 계산된다.

$$Q(m^3/hr) = \frac{3,600 \times q \times k \times f \times E}{cm} \quad (2)$$

$$= \frac{3,600 \times q \times 0.9 \times 1 \times 0.75}{20}$$

$$= 121.5 \times q$$

Eq. (2)를 사용하면, 0.6 m<sup>3</sup> 굴삭기의 경우 시간당 72.9 m<sup>3</sup>의

**Table 1.** Carbon Emissions from Equipment and Material Use (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012)

Detailed processes	Unit	Equipment	Carbon emissions per hour (kgCO <sub>2</sub> /hr) (A)	Input amount by process (hr/input unit) (B)	Carbon Emissions by Process (kgCO <sub>2</sub> /input unit) (C = A × B)
Cutting and fill-up ground	m <sup>3</sup>	0.6 m <sup>3</sup> Excavators	26.56	0.0137	0.363872
Side-slope forming	m <sup>2</sup>	0.6 m <sup>3</sup> Excavators	26.56	0.009	0.23904
Material	m <sup>3</sup>	Ready-mixed concrete	-	-	346
	tons	Rebar	-	-	400
	tons	Ascon	-	-	10

절성토 작업을 수행할 수 있다. 즉, 절성토 10 m<sup>3</sup> 당 0.6 m<sup>3</sup> 굴삭기 0.137시간이 필요하다.

### 3.2 면고르기 공정 공정의 장비사용 원단위

면고르기는 2021 건설공사 표준품셈(국토교통부), 성토 부대공의 ‘성토면 고르기’ 품셈을 사용하였다. 면고르기는 절토 및 성토 공정과 마찬가지로 별도의 재료가 투입되지는 않으며, 장비(굴삭기)만 사용하여 공정이 이루어진다. 2021 건설공사 표준품셈(국토교통부)에서는 면고르기 10 m<sup>3</sup> 당 0.6 m<sup>3</sup> 굴삭기 0.09시간이 필요한 것으로 제시하고 있다.

### 3.3 장비 및 재료사용에 따른 탄소배출량 원단위

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012)에서 장비, 재료에 따른 탄소배출량을 Table 1의 (A)열과 같이 제시하고 있다. 또한 레미콘은 346 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, 철근은 400 kgCO<sub>2</sub>/ton, 아스콘은 10 kgCO<sub>2</sub>/ton이 발생하는 것으로 제시하고 있다. 세부공정별로 산정한 장비 투입량(B)과 (A)열을 곱하면, 세부 공정별 탄소배출량 원단위를 산정할 수 있다.

## 4. 급경사지 정비사업에 따른 탄소배출량 산정

본 연구에서는 경상남도 고성군 동산3지구 급경사지 붕괴

위험지역 정비사업에 대하여 급경사지 붕괴위험지역 정비사업에 따른 탄소배출량을 산정하였다. 급경사지 정비사업 공정은 토공, 배수공, 포장공, 교통안전시설공, 부대공으로 구분이 된다. 이 중 부대공은 토공 및 배수공에 비하여 그 양이 미미하여 본 연구에서는 토공, 배수공 및 포장공에서의 탄소배출량 대상으로 평가하였다. 토공에서의 탄소배출량은 흙막기, 면고르기 등 토공을 위한 장비사용량으로 산정하였으며, 배수공, 포장공 및 교통안전시설공은 토공, 측구, 집수정 건설을 위한 재료사용량으로 산정하였다.

### 4.1 급경사지 정비사업 중 장비사용에 의한 탄소배출량 산정

급경사지 정비사업 토공분야 공정은 흙막기, 뜯돌제거, 되메우기, 면고르기 등으로 구성된다. 이상의 공정 수행을 위한 실제 공정은 절토 및 성토 과정으로 일반화 할 수 있다. 발파 작업에 의한 탄소배출량은 본 과업에서는 산정하지 않았으며, 모든 흙막기 과정을 절토 과정에 포함하여 산정하였다. 그리고 절성토 등 토공에 의한 탄소배출량은 앞 절에서 산정한 방법 및 원단위를 사용하였다. Table 2는 급경사지 정비사업시 장비사용에 의한 탄소배출량 산정결과를 나타낸다.

**Table 2.** Carbon Emissions from Equipment Use During Steep Slope Maintenance Project

Processes		Unit	Quantity	Carbon emissions per unit (kgCO <sub>2</sub> /unit)	Carbon emissions (kgCO <sub>2</sub> )
Cutting ground	Digging Soil	m <sup>3</sup>	688.3	0.36	250.5
	Ripping Rock	m <sup>3</sup>	280.7	0.36	102.1
	Blasting Rock	m <sup>3</sup>	5,166.3	0.36	1,879.7
Stone removal		m <sup>3</sup>	732.7	0.36	266.6
Backfill		m <sup>3</sup>	136	0.36	49.5
Leveling the surface		m <sup>2</sup>	2,798.8	0.24	669.0
Sum					3,217.4

**Table 3.** Carbon Emissions from Steep Slope Maintenance Project Material Use

Material	Size	Unit	Material use			Total use	Carbon emissions per unit (kgCO <sub>2</sub> /unit)	Carbon emissions (kgCO <sub>2</sub> )
			Drainage process	Pavement process	Traffic safety facility			
Ready-mixed concrete	25-21-12	m <sup>3</sup>	203.9			203.9	346	70,544.21
	40-18-8	m <sup>3</sup>	32.1		0.3	32.4	346	11,219.74
Rebar	D13	ton	10.180			10.180	400	4,071.80
	D29	ton	0.014			0.014	400	5.60
Ascon	WC-2	ton		197.2		197.2	10	1,972.00
	BB-2	ton		43.7		43.7	10	437.00
Sum								88,250.35

## 4.2 급경사지 정비사업 중 재료사용에 의한 탄소배출량 산정

급경사지 정비사업 세부공정 중 토공은 별도 재료 사용이 없었으며, 배수공, 포장공 및 교통안전시설공은 레미콘과 철근, 포장공은 아스콘을 주로 사용하였다. Table 3은 급경사지 정비사업 중 재료에 의한 탄소배출량 산정결과이다.

경상남도 고성군 동산3지구 급경사지 붕괴위험지역 정비사업을 대상으로 사업수행에 따른 탄소배출량을 산정하였다. 경상남도 고성군 동산3지구 급경사지 붕괴위험지역 정비사업 수행 시 91.5 tonCO<sub>2</sub>가 발생하였으며, 이중 토공을 위한 장비사용에는 3.2 tonCO<sub>2</sub>, 재료 사용에는 88.3 tonCO<sub>2</sub>가 발생하였다. 레미콘 타설을 위해서는 81.8 tonCO<sub>2</sub>가 발생하여 총 CO<sub>2</sub> 발생량의 89.4%를 차지하는 것으로 분석되었다.

## 5. 결론

2050년 순 탄소배출 제로 달성을 위하여 각 분야에서의 탄소배출 저감을 위한 노력이 이루어지고 있다. 안전한 삶을 위하여 에너지 절약, 자원의 효율적 배분 등 다른 가치에 비해 사업수행이 우선되었던 재난관리 분야에서도 탄소배출 저감은 필수적이다. 안전한 삶을 위해 수행하는 재난관리 사업에서 배출되는 탄소가 기후위기를 야기해 안전한 삶을 위협할 수 있어서다. 현재는 재난관리 분야 사업에 따른 탄소배출량이 집계되지 못하고 있으며, 평가 개별 사업에서의 배출량도 정량적으로 산정하지 못하고 있다. 재난 관리사업 수행시 발생하는 탄소량 평가 방법이 없기 때문이다.

이에 본 연구에서는 재난 관리사업에서 발생하는 탄소량을 정량적으로 평가하기 위한 방법을 제시하였다. 재난 관리사업에서의 탄소배출량을 장비사용과 재료사용으로 구분하여 산정하였으며, 표준품셈과 국토부 가이드라인을 사용하여 세부 공정별 탄소배출 원단위를 제시하였다. 이를 통해 제안된 방법이 전체 재난 관리사업에 범용으로 활용될 수 있도록 하였다. 추후 표준품셈이 변경되거나, 건설 장비 및 재료 사용에 따른 탄소배출량 기준이 변경된다면, 본 연구에서 개발된 방법에 변경된 기준을 반영할 수 있다.

개발된 방법을 급경사지 정비사업에 적용한 결과 급경사지 정비사업 수행에 따른 탄소 배출량의 89.4%가 시멘트 및 레미콘 등 콘크리트 타설에서 발생하였으며, 강재사용에 의한 배출량이 4.5%를 차지하였다. 장비사용에 따른 탄소배출량은 총 배출량의 3.5%에 불과하였다. 단위 무게 생산시 배출되는 탄소량은 철근이 콘크리트보다 많으나, 사용량 측면에서 콘크리트가 훨씬 많아 전체 탄소배출량은 콘크리트 타설에서 좌우되는 것으로 나타났다. 추후 재난관리사업에서 탄소배출량 절감을 위해서는 재료의 사용 측면에서 시멘트 및 콘크리트 사용량을 얼마나 줄일 수 있는지가 핵심이 될 것으로 예상된다.

본 연구에서 제시한 재난 관리분야의 탄소배출량 산정법

은 발파 등의 공정은 포함하지 못하였으며, 토사, 리핑암, 발파암 등 지반 종류에 따른 작업량 변화를 반영하지 못한 한계가 있다. 추후 연구에서는 본 연구결과를 바탕으로 공정의 세부 구분, 콘크리트 타설에 따른 장비 사용량 평가 등이 추가되어야 할 것이다. 다만, 재난관리 분야의 탄소배출량 평가를 위한 방법론을 활용하여 우리나라에서 수행되는 전체 재난관리사업에서의 탄소배출량 평가에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구 결과를 활용하여 향후 재난관리분야에서의 탄소제로 사업이 더욱 발전할 수 있기를 기대한다.

## 감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지능형 도시수자원 관리사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2019002950003).

## References

- ACEA. (2020). *CO<sub>2</sub> emissions from heavy-duty vehicles preliminary CO<sub>2</sub> baseline (Q3-Q4 2019) estimate*.
- Kim, J., Lee, S., and Sohn, J. (2004). An estimation of the energy consumption & CO<sub>2</sub> emission intensity during building construction. *Journal of the Architectural Institutes of Korea Planning & Design*, Vol. 20, No. 10, pp. 319-326.
- Korean Agency for Technology and Standards (KATS). (2015). *Greenhouse gases: Quantification and reporting of greenhouse gas emissions for organizations*. Guidance for the application of KS Q ISO 14064-1.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and Korea Institute of Construction Technology. (2020). *2021 Construction work standard production*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2012). *Guidelines for calculating carbon emissions by facilities*.
- Seo, J., Park, J., Oh, Y., and Park, S. (2016). Estimation of total transport CO<sub>2</sub> emissions generated by medium- and heavy-duty vehicles (MHDVs) in a sector of Korea. *Energies*, Vol. 9, No. 8, pp. 1-13.
- Tian, J., Yang, D., Zhang, H., and Liu, L. (2016). Classification method of energy efficiency and CO<sub>2</sub> emission intensity of commercial trucks in china's road transport. *Elsevier*, Vol. 137, pp. 75-84.
- Wang, X., Song, G., Zhai, Z., Wu, Y., Yin, H., and Yu, L. (2021). Effects of vehicle load on emissions of heavy-duty diesel trucks: A study based on real-world data. *International Journal of Environmental Research*

*and Public Health*, Vol. 18, No. 8, pp. 1-17.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2011). *Cement CO<sub>2</sub> • energy protocol - Criteria for calculating and reporting CO<sub>2</sub> • energy in the cement industry*.

---

<i>Received</i>	December 6, 2022
<i>Revised</i>	December 7, 2022
<i>Accepted</i>	December 19, 2022