KSMER Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers

Vol. 60, No. 6 (2023) pp. 480-489, https://doi.org/10.32390/ksmer.2023.60.6.480

ISSN 2288-0291(print)
ISSN 2288-2790(online)

연구논문

광해방지사업 표준품셈 기반 탄소배출원단위 적용에 관한 연구

곽인호[1] · 김수로[2]* · 박관인[2] · 위대형[1] · 이한솔[3]

[1](주)예스오알지 지속가능전략연구소, [2]한국광해광업공단 기술연구원 기술개발처, [3]한국산업·건설기계재제조진흥회

A Study on the Application of the Carbon Emissions DB Based on the Standard Quantity per Unit in Mine Rehabilitation Projects

Inho Kwak[1], Soolo, Kim[2]*, Gwanin Bak[2], Daehyung Wie[1] and Hansol Lee[3]

[1]YESSorg Co., Ltd., Seoul, Korea

[2]Technology Research & Development Institute, Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corp. (KOMIR), Wonju, Korea

[3]Korea Remanufacturing Association of industrial Machinery and Construction Machinery. (KRACIM), Gyeongsan, Korea

***Corresponding Author.** Soolo Kim, kimsoolo@komir.or.kr, Technology Research & Development Institute, Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corp. (KOMIR), Wonju, Korea

Received
16 November 2023

Final version Received
4 December 2023

Accepted
27 December 2023

Abstract

A KOMIR-included Carbon Emissions DB Based on the Standard Quantity per Unit in Mine Rehabilitation Projects for use in the design of “Mine Rehabilitation Projects as carbon neutral C codes” in the “GuidebooK: Mine Rehabilitation Technology in Korea – 2022 Edition Appendix.” In this study, a method of utilizing the “Mine Rehabilitation Projects as carbon neutral C codes” was proposed and the applicability of carbon emissions to eight "Mine Rehabilitation Projects" was reviewed through case studies.

Key words : mine rehabilitation projects, carbon emissions, carbon emissions DB, C code for mine rehabilitation projects, application of carbon emissions DB

요 약

한국광해광업공단은 2022년에 광해방지사업의 설계시 활용할 수 있는 표준품셈 기반 탄소배출원단위를 2022 광해방지기술기준에 광해방지사업용 탄소중립 C 코드로 수록하였다. 본 연구에서는 광해방지사업용 탄소중립 C 코드를 활용하는 방법을 구체적으로 제시하고, 8가지 광해방지사업에 대하여 탄소배출량을 시범 분석을 통하여 적용성을 검토하였다.

주요어 : 광해방지사업, 탄소배출량, 탄소배출원단위, 광해방지사업용 C 코드, 탄소배출량 원단위 적용

서 론

온실가스 배출량 증가로 인한 기후변화는 인간에 의한 것임이 명백해졌으며, 기후변화로 인한 피해는 갈수록 심각해지고 있다. 이러한 지구온난화로 인한 기후변화에 대응하기 위하여 1992년 브라질 리우데자네리우에서 열린 환경 및 개발에 관한 유엔 회의(UNCED, United Nations Conference on Environment and Development)에서 체결된 기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)을 시작으로 전세계적으

Copyright ⓒ 2023, The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers

로 기후 위기 대응을 위한 다방면의 노력이 시도되고 있다.

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 발표한 '지구온난화 1.5°C 특별보고서(SPECIAL REPORT: Global Warming of 1.5°C, 이하 SR15)에 따르면, 산업화 이전 수준 대비 현재 전지구 평균온도는 약 1.1°C 상승하였고 온실가스 배출이 현재 수준으로 지속될 경우 1.5°C 지구 온난화 도달 시점이 예상보다 더 빠를 것으로 예측하였다(IPCC, 2018). 또한, 이러한 기온 상승폭을 1.5°C 이하로 제한하기 위해서는 2030년까지 2010년 대비 최소 45% 감축이 되어야 하며, 2050년 경에는 순배출량을 0(Net-Zero)으로 하는 탄소중립 상태가 되어야 한다고 분석했다.

탄소중립은 온실가스 배출량을 획기적으로 줄이고, 남은 온실가스는 흡수나 제거하여 실질적인 배출량이 "0" 수준으로 낮추는 것을 의미하며 전 세계 각국에서는 탄소중립을 위한 목표를 자체적으로 수립 및 선언하고 장기저탄소발전전략(LEDS, Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies)을 수립, 감축 목표 설정을 위한 로드맵 등을 발표하고 있다.

우리나라도 기후위기의 심각한 영향을 예방하기 위하여 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 강화하고 탄소중립 사회로의 이행 과정에서 발생할 수 있는 경제적·환경적·사회적 불평등을 해소하며 녹색기술과 녹색산업의 육성·촉진·활성화를 통하여 경제와 환경의 조화로운 발전을 도모함으로써, 현재 세대와 미래 세대의 삶의 질을 높이고 생태계와 기후체계를 보호하며 국제사회의 지속가능발전에 이바지하는 것을 목적으로 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(약칭: 탄소중립법)을 제정하여 운영중이다. 이에 따라, 2050년까지 탄소중립을 목표로 하는 국가비전과 전략을 수립하였고, 이를 지원하기 위한 다양한 정책을 펼치고 있다.

우리나라의 공기업, 준정부기관, 공공기관 등 역시 정부 정책기조와 전세계적인 탄소중립 흐름에 따라 자체적으로 탄소중립 추진 방안을 발표하는 등 기관별 활동 영역에 적합한 다양한 전략을 수립하여 추진중에 있다. 한국광해광업공단은 「한국광해광업공단법」 제1조에 따라 광산피해의 관리 및 광물자원 육성·지원으로 광산지역의 경제활성화와 광물자원의 안정적 수급을 도모하기 위하여 설립된 기관으로 광해방지를 위한 다양한 사업을 수행하는 기관이며, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제26조 및 같은 법 시행령 제17조에 따라 공공부문 온실가스 목표관리를 수행하는 기관으로 지정되어 있다. 하지만, 조직경계 내에서 탄소배출량을 줄이기 위한 노력에는 한계가 있으며, 탄소중립을 위하여 LCA(Life Cycle Assessment) 기반으로 한국광해광업공단이 추진하는 사업의 투입되는 재료 생산부터 시설물의 해체 및 폐기까지 전과정에 대하여 탄소배출량을 산정하고 관리해야 할 필요성이 지속적으로 대두되고 있다.

한국광해광업공단에서 수행하는 사업인 광해방지사업에서 발생되는 탄소 중 상당 부분은 각종 건축재료를 시공한 뒤 사용, 유지관리 및 폐기단계에서 발생하는 내재탄소(embodied carbon emissions) 또는 원자재나 건설 공정 과정 중에 발생하는 "업프론트(upfront) 탄소"가 약 95% 정도 차지하는 것으로 알려져 있다(Kim *et al*., 2022).

광해방지사업을 총괄하여 탄소배출량을 정량화하는 연구는 2021년 광해방지사업에 적합한 탄소배출량 산정 방법 마련을 시작으로(Kim *et al*., 2021), 2022년에는 광해방지사업의 설계시 활용할 수 있는 탄소배출원단위를 표준품셈 기반으로 도출하였다(Kim *et al*., 2022). 이에 따라, 해당 결과물 기반으로 광해방지사업의 설계시 활용할 수 있는 표준품셈 기반 탄소배출원단위를 2022광해방지기술기준에 광해방지사업용 탄소중립 C 코드로 수록하였다(KOMIR, 2022).

따라서, 본 연구에서는 한국광해광업공단의 주요 활동인 광해방지사업에 대하여 광해방지사업용 탄소중립 C 코드를 활용하는 방법을 구체적으로 제시하고, 8가지 광해방지사업에 대한 탄소배출량을 산정하여 비교 분석하고, 개선방안을 제안하였다.

광해방지사업 탄소배출량 산정 방법

광해방지사업 전과정 탄소배출량 산정 방법

일반적으로 탄소배출량을 정량적으로 산정하는 방법은 직접적인 조직·경계(사업장, 기업 등)에서 배출하는 탄소를 관리하는 방식(온실가스 인벤토리 등의 총량관리)과 사업단위의 전 과정(life cycle)을 통해 해당 사업의 내재탄소 및 업프론트 탄소(scope 3: 사업장외에서 건설자재 생산에 의해서 배출이 대표적이며, 감축의무대상 아님)를 포함·관리하는 방식이 있다. 이중 총량 관리 방식은 국가 또는 조직이 당해연도 기준 온실가스 배출량을 산정하여 매년 감축목표를 달성하기 위한 수단으로 활용되는 것이고, 사업단위의 전과정을 통해 탄소배출량을 산정하고 관리하는 방식은 제품의 Life cycle을 고려하는 것으로 생산 단계에서 배출량이 늘었다고 하더라도 사용 및 폐기단계에서 탄소를 감축하면, 전체 탄소배출량은 감소할 수 있으므로, 탄소중립 활동에 더 적합한 탄소배출량 산정 방법이라고 할 수 있다.

광해방지사업은 추진 절차별로 사업계획과 기초조사는 한국광해광업공단이 수행하고, 세부 사업의 설계와 사업활동은 전문광해방지사업자가 추진하는 구조이므로, 조직경계 기반의 총량관리 방식보다 사업하나의 life cycle을

Table 1. Estimation methods of GHGs emissions for Mine reclamation Projects

Category		Composition
Scope and boundary definition	Assessment target	• Assessment target and method definition
	Assessment of life cycle	• Life cycle definition, method
	Target greenhouse gases	• Consideration of the kinds of greenhouse gases
	Assessment scope of life cycle	• Life cycle definition by assessment scope and target, method
	Identify source	• Direct emissions, Indirect emissions, other indirect emissions separated by sources calculations
Data collection and analysis	Data collection	• Data collection of life cycle for carbon emissions calculations
	Data analysis for emissions calculation	• Input analysis for emissions analysis
Carbon emissions calculation	Emissions formula definition	• Construction stage: carbon emissions formula according to input materials, equipment usage • Operation stage: carbon emissions formula according to utility usage • Demolition and recycling stage: carbon emissions formula according to waste transportation
	Connection with carbon emissions factor	• Connection with materials DB and energy DB
	Carbon emissions calculation	• Calculations of life cycle carbon emissions
	Cut-off level for data analysis	• Cut-off level setting for life cycle

Table 2. Calculation of the life cycle of GHG emissions and the applicable DB for Mine reclamation projects

Life cycle stage	Calculation items	Equation	Applicable data
Construction	Material input (ton, m^3, etc)	Work amount (unit) × Material inputs (ton, m^3/unit)	Estimation system of Design / Calculation basis
	Energy usage due to equipment usage (L)	Work amount (unit) / amount per hour (unit/hr) × fuel efficiency (L/hr) or Work amount (unit) × Equipment usage time(hr/unit) × fuel efficiency (L/hr)	Select according to the calculation method in the estimation of design Only for diesel or gasoline
	CO_2 emissions due to material input (tCO_2-eq)	∑[Material input (kg, m^3 etc) × Emission coefficient (tGHG(CO_2/CH_4/N_2O)/kg, m^3 etc) × GWP]	"National LCI DB, UNEP-GLAD DB[a], Ecoinvent DB etc can be applied
	CO_2 emissions from equipment use (tCO_2-eq)	∑[Energy usage(kWh, m^3 etc) × Permutations(MJ/kWh, m^3 etc) × Emission coefficient (tGHGs (CO_2/CH_4/N_2O)/TJ) × 10^{-9} × GWP]	National calorific value[b] and IPCC 2006 calorific amount[c] can be applied. The basic emission coefficients by fuel and greenhouse gas in the mobile combustion (road) sector may be applied.
Operation and maintenance	CO_2 emissions from energy use (tCO_2-eq)	Same as CO_2 emissions due to construction-stage equipment use	The emission coefficient for power uses the nationally unique power emission coefficient.
End of life	Same as CO_2 emissions due to construction-stage equipment use		

[a] UNEP-GLAD: Global LCA Data Access.
[b] Energy Law Enforcement Rules.
[c] GWP: IPCC (2006) Guideline.

기반으로 각 단계 사업별로 전과정 배출량 산정 방식이 타당하다.

광해방지사업의 전과정 탄소배출량 산정 방법은 광해방지사업의 세부사업별로 사업 추진절차와 RICS(Royal Institution of Chartered Surveyors)의 “Whole life carbon assessment for the built environment(WLCA)”, 즉, EN 15978과 PAS(Publicly Available Specification) 2080에서 제시한 탄소 배출원과 관리대상 온실가스의 범위를 선정하고, 국토교통부의 “시설물별 탄소배출량 산정 지침”에서 제시한 국내 건설공사 시 수집해야 하는 데이터 수집 목록과 방법을 준용하여 life cycle 단계를 구분하여 분석하고자 하는 사업에 대하여 Table 1과 같이 평가범위 및 경계설정, 활동 데이터 수집 및 분석 그리고 탄소배출량 산정이라는 3가지 단계를 거쳐 산정한다(Kim *et al*., 2021). 탄소배출량 산정 단계에서의 시공, 운영, 폐기 단계별 산정식 및 활용자료는 Table 2와 같으며 대상사업의 설계내역서를 기반으로한 자재투입량, 장비사용량의 자료를 바탕으로 산정한다.

광해방지사업용 C 코드 활용 탄소배출량 산정 방법

광해방지사업과 같은 토목공사 위주 활동이 주를 이루는 사업은 공사 및 세부 공종의 수가 많고 모든 건설 활동에 대한 탄소배출계수를 직접 연계하기에 어려움이 있으므로, 공사별 또는 공종별 탄소배출량 표준원단위(Carbon Emissions DB Based on Standard Quantity per Unit)를 구축하여 관리하는 것이 필요하다(Kim *et al*., 2022).

공사별 또는 공종별 탄소배출량 표준원단위란 광해방지사업 설계시 설계내역서를 작성하기 위하여 제공되는 표준품셈을 활용하여 표준품셈내 공종별로 자재, 장비 등이 투입된 기본 작업 단위당 탄소배출원별 탄소배출량을 1단위 작업당 산정해둔 데이터베이스이다. 이러한 공종별로 구축된 탄소배출원단위를 활용하면 직접적으로 탄소배출량 산정에 필요한 자재 투입량, 장비 사용량 등의 물량을 계산할 필요 없이 해당 공사명이나 공종명, 규격 등이 일치하는 탄소배출원단위를 활용하여 필요한 부분에 대한 탄소배출량을 쉽게 산정 할 수 있다.

즉, 2.1에서 제시한 탄소배출량 산정 방법과 Table 2의 건설단계 탄소배출량 산정 방법 중 자재투입량과 장비 사용량에 따른 배출계수 연계의 과정을 통하여 공종별로 원단위가 구축되어 있다면 식 (1)과 같이, 공종별 탄소배출 원단위에 내역별 작업량을 곱하는 과정만으로 탄소배출량을 간단히 산정할 수 있다.

$$\text{Work amount (unit)} \times \text{Carbon Emissions DB Based on Standard Quantity per Unit } (CO_2e/\text{unit}) \quad (1)$$

Where, Work amount: Quantity of work by construction type in the design statement
Unit: Basic units such as m^3, m^2, m, kg, ton, EA, Etc.

전술한 바와 같이, 한국광해광업공단은 “탄소중립을 위한 광해방지사업 공종별 이산화탄소 발생량 분석 및 평가 연구”(2021~2023)를 통하여 2021년도에 광해방지사업에 적합한 탄소배출량 산정 방법을 제시하고, 2022년에 광해방지사업별 설계과정에서 탄소배출량을 정량적으로 쉽게 산정할 수 있도록 탄소배출량 원단위를 광해방지사업 표준품셈 기준으로 구축하였으며, 그 결과를 “광해방지사업용 C 코드”로 구분하여 2022 광해방지 기술기준 부록 6에 수록하였다.

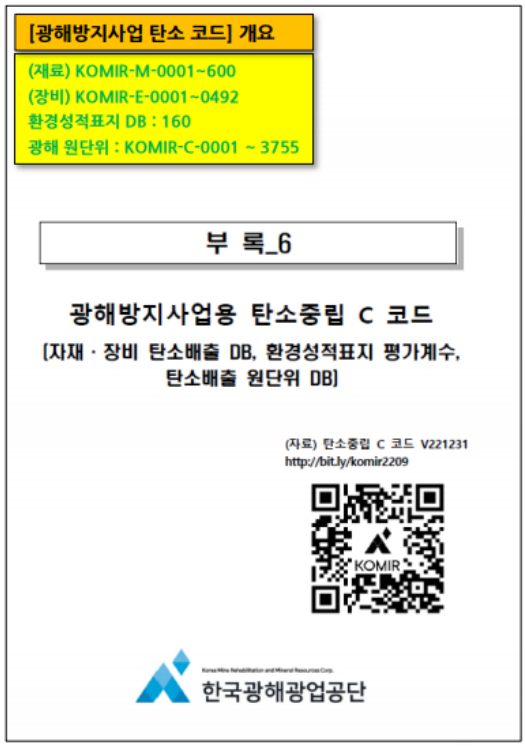
광해방지사업용 C 코드는 탄소배출량을 산정하기 위한 배출계수로 Fig. 1에 나타낸 것과 같이, 광해방지사업에 투입되는 자재 600개의 탄소배출계수(KOMIR-M-0001~0600), 장비 492개에 대한 탄소배출계수(KOMIR-E-0001-0492), 그리고 광해방지시설 표준품셈 기반 공종별 탄소배출 원단위 3,755개(KOMIR-C-0001~3755)로 구성되어 있다.

따라서, 광해방지사업 탄소배출량 산정한 표준품셈 기반 탄소배출원단위는 광해방지사업용 C 코드라고 할 수 있으며, 이 C 코드를 활용하면, 식 (2) 및 식 (3)과 같이 탄소배출량을 산정할 수 있다. 즉, 탄소배출 C 코드와 공종을 매칭할 수 있으면, 별도의 자재, 장비에 대한 사용량을 계산하지 않고도 탄소배출량을 산정할 수 있다.

$$CO_2 \text{ Emissions form Work} = \text{Work amount (unit)} \times \text{C code for Mine Rehabilitation Projects } (CO_2e/\text{unit}) \quad (2)$$

Where, Work amount: Quantity of work by construction type in the design statement
Unit: Basic units such as m^3, m^2, m, kg, ton, EA, Etc.

$$CO_2 \text{ Emissions form Mine Rehabilitation Projects} = \Sigma CO_2 \text{ Emissions from Work} \quad (3)$$



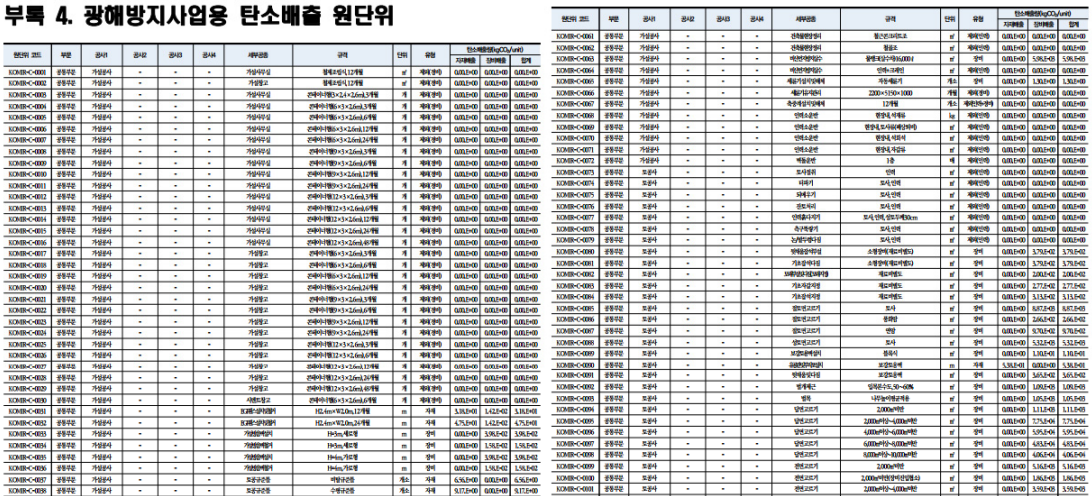


Fig. 1. C code for Mine Rehabilitation Projects (Komir, 2022).

광해방지사업용 C 코드 활용 탄소배출량 사례분석

사례 분석 개요

광해방지사업용 C 코드를 활용하여 모든 광해방지사업에 탄소배출량 산정 및 분석의 가능 여부를 판단하기 위하여 사례 분석을 실시하였다. 광해방지사업은『광산피해의 방지 및 복구에 관한 법률』제11조(광해방지사업 범위)에 따라 광해방지사업의 범위를 명시적으로 규정하고 있다. 따라서, 사례분석 대상은 관련 법률에서 규정하는 대분류 9개 사업에 대하여 기초자료를 수집하여 수행하였고, 광산 GIS 사업(정보화) 사업은 GIS 및 소프트웨어 등 정보화 관련 사업으로 다른 8개 사업과 달리 토목공사의 특징을 가지지 않으므로 내역서 기반의 광해방지사업용 C 코드 활용이 불가능하여 분석 대상에서 제외하였다.

기초자료는 해당 사업의 대표성을 확보하기 위하여 광해정보종합시스템 및 한국광해광업공단의 각 사업별 실무사업부서와 협의를 통하여 사업분야내 대표공정이 포함되어 있으며, 설계 준공이 완료된 사업을 대상으로 2023년 기준 5년이내 시행된 사업을 중심으로 분석 대상을 선정하고 설계·준공내역서를 수집하였다. 세부 분석 대상 사업은 8개 분야 15개 사례로 Table 3과 같다.

Table 3. Overview of a case study of CO_2 emissions calculation by the mine reclamation projects

Project	A place of business	acronym	Year	Construction costs (hundred million won)	Material cost (million won)①	Main Work
Waste Stone Loss Prevention Project	Omyakorea	OM	2018	2.33	74.51	Retaining wall
	SAMPYO	SP	2022	7.01	204.88	Erosion control facilities (retaining wall etc.)
Prevention of Loss of Tailings	Goseong mine	KS	2019	7.87	348.38	Structure work, HDPE, water-stop work
Prevention of Ground Subsidence project	Gwanhan-ri	KH	2019	9.15	154.56	Mortar changing, barrier
Pollution water quality improvement project	Waryong Coal mine	WR	2018	108.62	4,711.70	Demolition, installation work, appurtenant work (control, electricity, waste) etc.
Soil Improvement and Restoration Project	Jeonbo mine	JB	2019	16.03	513.64	Soil improvement (overburden, stabilization) etc.
Prevention of Dust Scattering project	Asiacement	AS	2020	28.08	805.22	Dust cover
	Ssangyong Cement Donghae Plant	SYD	2020	3.73	95.63	Dust collector
	EF	EF	2020	1.01	46.56	Automatic Tire Washer
	Hallacement	HL	2021	28.69	-	Conveyor cover
	Gangwonmaterial	GW	2019	2.44	86.73	Dust barrier
	Ssangyong Cement Donghae Plant	SYD	2018	0.62	107.07	Noise barrier
Demolish of waste facilities project	Bongyang Coal mine	BY	2020	2.91	32.96	Demolition, service (waste, scattering, inspection])
Forest restoration project	Dongwon Coal mine	DW	2020	21.02	636.20	Earth work, Structure work, Revegetation Measures
	Donghae Coal mine Zone 2 Section 1.2	DH	2022	17.72	444.37	Slope Protection (Design Book 1 type)

사례 분석 결과

8개 사업 유형, 15개 사업에 대하여 탄소배출량 산정 결과를 해석하는데 있어, 사업별 배출 총량을 비교하는 것은 사업의 특성과 투입된 공사비가 다르기 때문에 의미가 없다. 즉, 8개 사업간 상호 비교가 아닌 사업내 설계 요소 변경에 따라 탄소배출량의 변화도 분석이 필요하며, 공법의 변경 및 재료의 변경에 따라 공사비가 달라지기 때문에 투입된 재료비 대비 탄소배출량을 기준으로 원단위를 산정하여 상호 비교하는 것이 필요하다. 그리고, 광해방지사업용 C 코드를 적용하여 탄소배출량을 산정하였을시, 현재 광해방지사업 표준품셈을 기준으로 작성된 C 코드가 설계시 고려된 모든 내역에 대해서 산정할 수는 없는 한계가 존재하므로, 탄소배출량 산정 후 상호 비교시 Cut-off 룰이 동일한 기준에서 분석이 필요하다. 따라서, 사례분석 결과 해석은 다음과 같은 기준에 의해서 분석하였다.

1) 전체 사업별 총 배출량을 한눈에 보고 비교할 수 있도록 탄소배출총량 정보를 표로 정리하되 상호 비교는 수행하지 않음.
2) 각 사업별로 배출원의 특성을 확인하기 위하여 장비 사용시 연료소비에 의한 배출(Scope 1), 자재투입에

Table 4. Results of a case study of CO_2 emissions calculation by the mine reclamation projects

Project		CO_2 emissions (tCO_2e)			Cost of calculated CO_2 emissions (million won) (③)	CO_2 emissions per Material cost (tCO_2e/million won) (②/①[a)])	Calculation rate (%) (③/①)[b)]
		Total②	Scope 1	Scope 3			
prevention of waste stone loss	OM	206.89 (100%)	0.10 (0.05%)	206.79 (99.95%)	72.01	2.78	96.6
	SP	598.88 (100%)	0.62 (0.10%)	598.26 (99.90%)	201.34	2.92	98.3
Prevention of Loss of Tailings	KS	113.14 (100%)	1.25 (1.11%)	111.89 (98.89%)	282.22	0.32	81.0
Prevention of Ground Subsidence project	KH	581.30 (100%)	56.26 (9.68%)	525.05 (90.32%)	149.92	3.76	97.0
Pollution water quality improvement project	WR	88,722.85 (100%)	17.14 (0.02%)	88,705.71 (99.98%)	4,274.74	18.83	90.7
Soil Improvement and Restoration Project	JB	124.12 (100%)	10.71 (8.62%)	113.41 (91.37%)	476.55	0.24	92.8
Prevention of Dust Scattering project	AS	617.47 (100%)	0.89 (0.14%)	616.58 (99.86%)	699.75	0.77	86.9
	SYD	83.94 (100%)	0.01 (0.008%)	83.93 (99.992%)	79.39	0.88	83.0
	EF	42.25 (100%)	0.14 (0.34%)	42.10 (99.66%)	46.53	0.91	99.9
	HL	1,143.99 (100%)	51.30 (4.2%)	1,092.69 (95.8%)	2,793.18	-	97.4[c)]
	GW	147.58 (100%)	0.08 (0.05%)	147.50 (99.95%)	80.85	1.70	93.2
	SYD	300.89 (100%)	0.02 (0.006%)	300.88 (99.994%)	97.40	2.81	91.0
Demolish of waste facilities project	BY	-2.51 (100%)	0.37 (-14.68%)	-2.87 (114.68%)	30.85	-0.08	93.6
Forest restoration project	DW	174.58 (100%)	26.79 (15.35%)	147.78 (84.65%)	574.32	0.27	90.3
	DH	108.13 (100%)	3.84 (3.55%)	104.29 (96.45%)	434.98	0.24	97.9

[a)] Refer to Table 3.

[b)] Indicates an analysis rate as a ratio of: the calculated material cost of carbon emissions to the total material cost; refer to Table 3. The cost of calculated carbon emissions among material costs/Total Material cost.

[c)] Cost of calculated carbon emissions among construction cost/Total Construction cost, no material costs.

따라 자재 생산단계에서 배출되어 온 배출(Scope 3)로 구분하여 비율에 대한 분석

3) 장비의 사용, 자재의 투입은 설계내역서에서 재료비 항목과 연관되므로, 사업간 상호 비교를 위해 총 투입 재료비당 탄소배출량을 나누어 산정한 재료비당 탄소배출 원단위를 산출하고, 해당 결과 값의 비교
4) 상호 비교시 분석 수준과 광해방지사업용 C 코드를 활용하여 각 사업별 탄소배출량의 정량적 탄소배출량 산정 가능률을 확인할 수 있는 분석률(Cut-off 룰)로 구분하여 분석

앞서 선정한 8개 사업 유형 15개 사업에 대하여 상기 분석 조건에 부합되도록 탄소배출량 산정 결과를 정리하여 나타내면, Table 4 및 Fig. 2와 같다.

광해방지사업 8개 사업 모두 장비 사용보다 자재투입에 의한 탄소배출량이 95%이상 차지하는 것으로 나타났으며, 대부분 99% 이상 자재투입에 의한 탄소배출량이 높게 산정되었다. 즉, 광해방지사업을 추진하기 위하여 필요한 레미콘, 시멘트, 철근 등을 생산하는 과정에서 다량의 탄소를 배출한 자재를 사용하여 해당 사업을 추진했다는 것을 의미하며, 광해방지사업 추진시 사용 자재별 탄소배출량을 비교분석하여 생산과정에서 탄소배출이 낮은 자재의 선택이 요구된다. 폐시설물 철거 사업의 경우, 철거된 자재를 재활용 공정에 투입하여 재활용되는 자재로 투입함에 따라 신재를 제조하는 자재의 탄소배출 회피효과에 따라 음수로 배출량이 산정된 것으로, 모든 사업 추진시 투입되는 자재를 자원순환 과정을 통하여 생산된 자재로 대체 투입시 탄소저감이 발생할 수 있을 것으로 사료된다.

재료비당 탄소배출량을 비교 분석하면, 오염수질개선사업의 배출량이 18.83 tCO_2e/백만원으로 타 사업대비 높게 나타났다. 타 사업과 달리 수질개선을 위한 기계장비를 설치하고, 관련 시설 운영을 위한 레미콘 등의 고탄소자재를 많이 사용함에 따라 탄소배출량이 높은 것으로 사료된다.

마지막으로 광해방지사업용 C 코드만을 활용하여 탄소배출량을 산정했을 시 현재 사례분석 결과에서 재료비 대비 탄소배출량 산정 가능률은 광물찌꺼기 유실방지사업이 81%, 먼지날림방지사업 중 쌍용양회 동해 사업지에 대해서 83%가 나타나 재료비 대비 최소 80% 이상 분석이 가능한 것으로 판단된다. 분석률이 낮은 사업은 표준품셈에서 제공되는 자재, 장비 목록과 공종 코드를 매칭할 수 없는 공종이나 자재가 포함되어 있거나 세부 사업을 추진시 특정 공종 및 자재에 대해서 견적가를 적용함에 따라 세부 내역을 확인 할 수 없어 분석률이 낮아진 것으로 사료되며, 이러한 사례를 지속적으로 수집하여 분석률을 높이는 방안 모색이 필요하다.

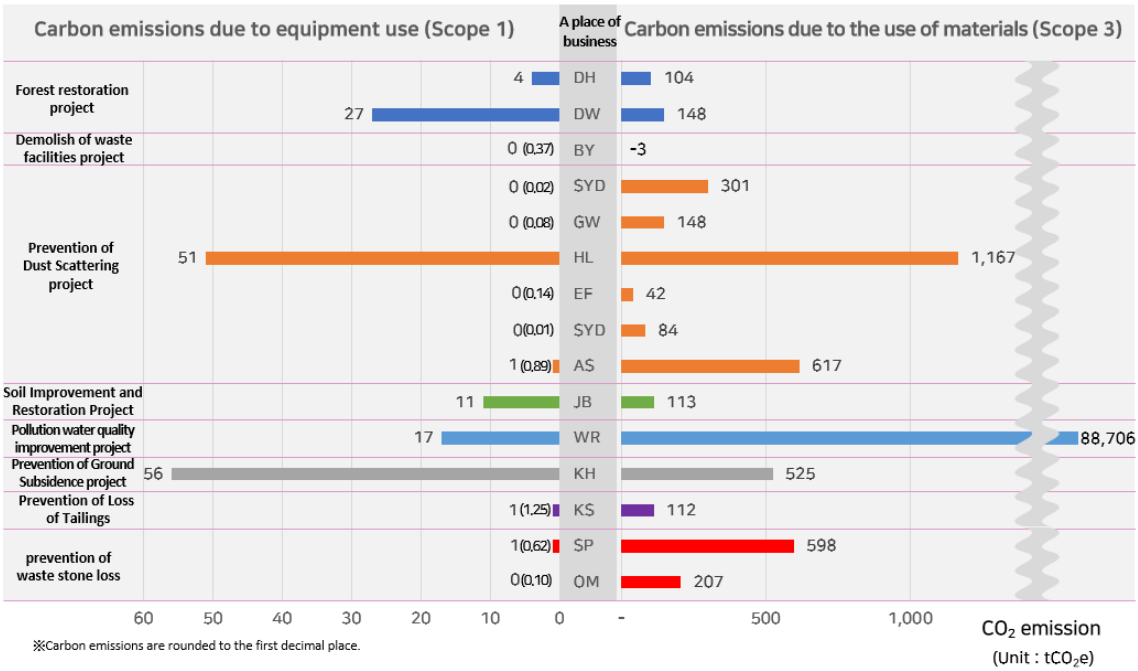


Fig. 2. Results of the case study of CO_2 emissions calculation by the mine reclamation projects.

결 론

본 연구는 한국광해광업공단의 주요 사업인 광해방지사업에 대하여 탄소배출량 산정을 위해서 구축된 광해방지사업용 C 코드를 활용하는 방법을 구체적으로 제시하고, 8가지 광해방지사업에 대해서 대표 사업지를 선정하여 시범분석을 실시하고, 그 적용성을 검토하였다.

광해방지사업은 사업 추진시 조직경계내에서 배출되는 직접적인 탄소배출량은 적으나 광해방지사업으로 인하여 소비되는 자재로 인한 탄소배출량이 월등히 높게 나타남이 사례 분석 결과를 통하여 정량적으로 분석되었다. 이는 탄소중립을 위하여 관리해야 하는 영역을 현재 관리되는 직접적인 탄소배출원의 관리에서 Scope 3로 확장하여 내재탄소 및 업프론트 카본의 관리까지 확장되어야 함을 의미한다. 따라서, 지속적인 광해방지사업의 탄소중립을 위해서는 본 연구에서 제시된 광해방지사업용 C 코드를 활용한 탄소배출량 산정 방법을 활용하여 사업전 탄소배출량에 대하여 예측하고 저감가능한 요소를 발굴하여 현장에 적용시킬 필요가 있다.

본 연구에서는 광해방지사업 추진시 사업전 간편하게 정량적인 탄소배출량을 산정할 수 있도록 광해방지사업용 C 코드를 적용하는 방법을 제시하고 사례분석을 실시하였으나, 현재 지속적으로 탄소배출계수가 변화하고 설계 기준 등의 변화로 인하여 품셈도 업데이트 되므로 광해방지사업용 C 코드의 업데이트 주기를 설정하여 지속적인 업데이트가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 현재 C 코드만을 활용하여 탄소배출량을 산정했을 시 사례 분석 결과 최소 분석기준이 80%로 나타났기 때문에 모든 배출원의 탄소배출량을 산정할 수 없으므로, 최소 분석기준을 80% 이상으로 설정하고, 하여 활용토록하고, 상호 비교를 위한 원단위를 모든 사업으로 확장하여 구축하는 방안 마련이 필요하다.

광해방지사업의 탄소배출량을 지속적으로 산정하고 관리하기 위해서는 광해방지사업의 추진 전 탄소배출량의 산정 결과를 상호 비교할 수 있는 MRV(Measurement, Reporting, and Verification)의 체계 구축이 반드시 선행되어야 한다. 또한, MRV 체계 구축시 분석 기준을 ISO 14067에서 정하는 95% 이상으로 설정하기 위한 방안과 분석기준을 재료비로 선정한 사유에 대한 타당성 확보 방안을 반드시 검토해야 하며, 이를 통하여 광해방지사업의 계획 단계에서부터 해당 사업의 최대 허용 탄소배출량을 제시하고 관리방안에 대한 전략이 수립된다면, 광해방지사업별 탄소배출량의 정량화와 저감 기술 적용시 탄소배출량 산정을 위한 기준 배출량을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 한국광해광업공단의 “탄소중립을 위한 광해방지사업 공종별 이산화탄소 발생량 분석 및 평가 연구”의 지원을 받아 수행된 연구이고, 한국화학연구원의 “공정촉매 재제조품 시험분석법, 공정패키지, 품질인증 및 탄소배출량 산출 표준모델 개발”의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20228A10100020).

References

IPCC, 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston H.S, BuendiaL., Miwa K., NgaraT. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC, 2018. *Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32p.

Kim, S.L., Kwak, I.H., Wie, D.H., Bak, G.I., and Baek, S.H., 2022. A study on the calculation method of carbon emissions in mine rehabilitation projects for net-zero strategy, *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 59(6), p.619-633.

Kim, S.L., Kwak, I.H., Wie, D.H., Park, K.H., and Baek, S.H., 2021. Study on estimation methods of life cycle GHGs emission for the mine reclamation project, *Economic and Environmental Geology*, 54(6), p.733-41.

Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corp. (KOMIR), 2022. *Guidebook: Mine Rehabilitation Technology in Korea −2022 Edition*, South Korea (in Korea).

곽 인 호

2017년 인하대학교 대학원 환경안전융합 전공 공학박사

현재 예스오알지 지속가능전략연구소 책임연구원
(E-mail; dlsgh81@yess.or.kr)

김 수 로

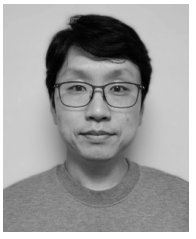
2007년 기술사(지질 및 지반)

현재 한국광해광업공단 기술연구원 기술개발처 차장
(E-mail; kimsoolo@komir.or.kr)

박 관 인

2006년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사

현재 한국광해광업공단 기술연구원 기술개발처 팀장
(E-mail; kipark@komir.or.kr)



위 대 형

2011년 국민대학교 산림환경시스템학과 학사

현재 예스오알지 지속가능전략연구소 책임연구원
(E-mail; dnleogud@yess.or.kr)

이 한 솔

2018년 건국대학교 환경보건과학과 학사

현재 한국산업 · 건설기계재제조진흥회 연구원
(E-mail; s201224@naver.com)