Research Paper

Study on Estimation Methods of Life Cycle GHGs Emission for the Mine Reclamation Project

Soo-lo Kim^{1,*}, In-Ho Kwak², Dae-Hyung Wie², Kwang-ho Park², Seung-Han Baik¹

¹Technology Research & Development Institute Korea Mine Rehabilitation and Mineral Resources Corp.(KOMIR), Wonju 26464, Korea

²Yessorg Corp. LTD, Seoul 04969, Korea

*Corresponding author : kimsoolo@komir.or.kr

ARTICLE INFORMATION

Manuscript received 29 November 2021

Received in revised form 16 December 2021

Manuscript accepted 16 December 2021

Available online 28 December 2021

DOI : <http://dx.doi.org/10.9719/EEG.2021.54.6.733>

Research Highlights

- Comprehensive carbon management is insufficient due to the lack of compulsory reductions such as the GHG energy target management system and the GHG emissions trading offset system implemented to reduce greenhouse gases.
- Currently, there is no cases for estimation or calculation of carbon dioxide emissions for the Mine Reclamation projects.
- It is reviewed the standard methods proposed by domestic and foreign carbon emission calculation methods and proposed appropriate carbon emission estimation methods for the Mine Reclamation projects in this study.

ABSTRACT

Globally, in accordance with the goals set forth in the 2015 Paris Climate Agreement, each country has established and declared a reduction target for carbon neutrality by 2050. The roadmaps for establishing long-term greenhouse gas emissions development strategies and setting reduction targets have been announced. As the international community accelerates the transition to the net-zero society, 128 countries have declared net-zero by the end of 2020, and the net-zero declaration continues to expand around G20 member states. In December 2020, Korea announced the "2050 Net-zero Strategy" to establish a foundation for simultaneously achieving carbon reduction, economic growth, and improved quality of life for the people through active response to the net-zero, and pursuing policy tasks in stages to do this. Comprehensive carbon management is insufficient due to the lack of comprehensive carbon management due to the departure from the areas of mandatory reduction, such as the GHG energy target management system and the GHG emissions trading offset system implemented to reduce greenhouse gases in Korea. Currently, there is no cases for estimation or calculation of carbon dioxide emissions for the Mine Reclamation projects. It is reviewed the standard methods proposed by domestic and foreign carbon emission calculation methods and proposed appropriate carbon emission estimation methods for the Mine Reclamation projects in this study.

Keywords : Mine Reclamation project, greenhouse gases(GHGs), estimation methodology of GHGs, life cycle carbon dioxide(LCCO₂)

Citation: Kim, S.-I., Kwak, I.-H., Wie, D.-H., Park, K.-h., Baik, S.-H. (2021) Study on Estimation Methods of Life Cycle GHGs Emission for the Mine Reclamation Project. Korea Economic and Environmental Geology, v.54, p.733-741, doi:10.9719/EEG2021.54.6.733.

✉ Journal homepage: <http://www.kseeg.org/main.html>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided original work is properly cited.

pISSN 1225-7281; eISSN 2288-7962/©2021 The KSEEG. Printed by Hanrimwon Publishing Company. All rights reserved.

연구논문

광해방지사업의 전과정 온실가스 배출량 산정방법에 대한 연구

김수로^{1,*} · 곽인호² · 위대형² · 박광호² · 백승한¹

¹한국광업공해공단 기술연구원

²(주)에스오알지

*책임저자 : kimsoolo@komir.or.kr

요 약

전세계적으로 2015년 파리기후협약에서 정한 목표에 따라 2050년까지 탄소중립을 위하여 각 국가는 감축목표를 수립 및 선언하고, “장기 저탄소 발전전략” (Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies, LEDS)을 수립, 감축 목표 설정을 위한 로드맵 등을 발표하고 있다. 국제사회의 탄소중립사회 전환 가속화에 따라 2020년말까지 128개국이 탄소중립을 선언하였으며, G20 회원국을 중심으로 지속적으로 탄소중립선언이 확대되고 있다. 우리나라도 2020년 12월 탄소중립의 능동적 대응을 통해 탄소중립과 경제성장, 국민 삶의 질 향상을 동시 달성하는 기반 마련을 위한 “2050 탄소중립 추진전략”을 발표하였고, 이를 위한 정책과제를 단계적으로 추진하고 있다. 우리나라에서 온실가스 감축을 위하여 시행되고 있는 온실가스에너지 목표관리제 및 온실가스 배출권거래제 상쇄제도 등 의무감축제도의 영역에서 벗어나 있어 종합적인 탄소관리는 미흡하며, 현재 광해방지사업으로 인한 이산화탄소배출량을 정량화한 사례는 없다. 따라서, 본 연구에서는 전세계적인 탄소중립의 관심과 정부 정책 기조에 따라 탄소 중립 실현을 위해서 한국광해광업공단의 주 업무인 광해방지사업에 대하여 국내의 탄소배출량 산정 방법으로 제시된 표준방법을 검토하고, 광해방지사업에 적합한 탄소배출량 산정 방법을 제시하고자 하였다.

주요어 : 광해방지사업, 온실가스, 온실가스 배출량, 온실가스 배출량 산정방법, LCCO₂

1. 서 론

이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄) 등은 지구온난화를 일으키는 대표적인 온실가스로 대기 중 온실가스의 농도는 주로 인류의 활동에 의하여 증가하였고, 온실가스 배출의 지속적인 증가는 지구온난화로 이어져 인류 생존을 위협하고 있다.

이로 인하여 지구온난화 대응에 대해 개별 국가의 노력을 넘어서 전 지구적 의제로 다루기 위해 1992년 브라질 리우데자네이루에서 기후변화협약을 체결하면서, 지속적으로 온실가스 감축을 위한 다양한 노력이 이루어져 왔다.

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 발간한 1.5°C 특별보고서에 따르면, 전세계 온실가스 배출량은 지난 10년동안 1.5% 지속적으로 증가하였으며, 2050년까지 전지구 탄소중립을 달성해야 2100년까지 1.5°C 이내 온도 상승 시나리오가 가능한 것으로 나타났다(IPCC, 2018).

탄소중립은 인간의 활동에 의한 온실가스 배출을 최대한 줄이고, 남은 온실가스는 흡수(산림 등), 제거(탄소흡수)해서 실질적인 배출량이 “0”이 되는 상태로 넷제로(Net-Zero)라고도 불린다. 전세계적으로 2015년 파리기후협약에서 정한 목표에 따라 2050년까지 탄소중립을 위하여 각 국가별로 감축목표를 수립 및 선언하고, “장기 저

탄소 발전전략” (Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies, LEDS)을 수립하고, 감축 목표 설정을 위한 로드맵 등을 발표하고 있다. 국제사회의 탄소중립사회 전환 가속화에 따라 2020년말까지 128개국이 탄소중립을 선언하였으며, G20 회원국을 중심으로 지속적으로 탄소중립선언이 확대되고 있다. 우리나라도 2020년 12월 탄소중립의 능동적 대응을 통해 탄소중립과 경제성장, 국민 삶의 질 향상을 동시 달성하는 기반 마련을 위한 “2050 탄소중립 추진전략”을 발표하였고, 이를 위한 정책과제를 단계적으로 추진하고 있다.

한국광해광업공단은 「한국광해광업공단법」 제1조에 따라 광산피해의 관리 및 광물자원 육성·지원으로 광산지역의 경제활성화와 광물자원의 안정적 수급을 도모하기 위하여 설립된 기관으로 광해광업 전주기 지원으로 광산지역 발전과 자원안보를 선도하는 전문기관을 비전으로 설정하여 지속가능경영 활동을 펼치고 있다. 하지만, 우리나라에서 온실가스 감축을 위하여 시행되고 있는 온실가스에너지 목표관리제 및 온실가스 배출권거래제 상쇄제도 등 의무감축제도의 영역에서 벗어나 있어 종합적인 탄소관리는 미흡하며, 현재 광해방지사업으로 인한 이산화탄소배출량을 정량화한 사례는 없다. 따라서, 본 연구에서는 전세계적인 탄소중립의 관심과 정부 정책 기조에

따라 탄소 중립 실현을 위해서 한국광해광업공단의 주 업무인 광해방지사업에 대하여 국내외 탄소배출량 산정 방법으로 제시된 표준방법을 검토하고, 광해방지사업에 적합한 탄소배출량 산정 방법을 제시하고자 하였다.

2. 국내외 탄소배출량 산정방법론 및 연구사례 분석

2.1. 국내외 탄소배출량 산정방법 및 기준 검토

광해방지사업에 적합한 탄소배출량 산정방법을 제시하는데 있어, 현재 탄소배출량을 산정하고 관리하고 있는 방식에 대한 내용을 비교 분석하는 것은 매우 중요하다. 탄소배출량을 산정하고 관리하는 방식에는 특정 지역과 특정 시기에 대하여 총량적으로 관리하는 방식과 전과정

평가(Life Cycle Assessment, LCA) 관점에서 제품 또는 시스템에 대하여 원료 채취부터 폐기 및 재활용까지 전 과정에 대하여 탄소배출량을 산정하고 관리하는 방식이 존재한다. 총량관리는 국가 단위에서 국가 온실가스 인벤토리라는 명목으로 매년 국가 시스템 경계내 온실가스 배출량을 산출하여 관리하는 방식을 말하며, 전과정 관리 개념의 탄소배출량 산정 방식은 탄소발자국의 개념으로 하나의 제품 또는 시스템에서 직간접적으로 배출한 모든 탄소배출량을 산정하는 방식을 말한다. 본 연구에서는 광해방지사업 적합한 탄소배출량 산정 및 관리를 위하여 총량 접근 방식의 탄소배출량 산정 방법과 전과정 측면에서 탄소배출량 산정 방법을 국내외 기존 탄소배출량 산정방법론 및 기준을 중심으로 모두 검토하였다 (Table 1).

Table 1. Review of global and domestic carbon emission calculation methods and standards

Standards	Main Contents	Remarks
ISO 14064-1 (2018)	· Specifies principles and requirements at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas (GHG) emissions and removals.	· It includes requirements for the design, development, management, reporting and verification of an organization's GHG inventory
ISO 14064-2 (2019)	· Specifies principles and requirements and provides guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of activities intended to cause greenhouse gas (GHG) emission reductions or removal enhancements.	· It includes requirements for planning a GHG project, identifying and selecting GHG sources, sinks and reservoirs relevant to the project and baseline scenario, monitoring, quantifying, documenting and reporting GHG project performance and managing data quality.
ISO 14064-3 (2019)	· Specifies principles and requirements and provides guidance for those conducting or managing the validation and/or verification of greenhouse gas (GHG) assertions.	· It can be applied to organizational or GHG project quantification, including GHG quantification, monitoring and reporting carried out in accordance with ISO 14064-1 or ISO 14064-2.
ISO 14067 (2018)	· Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification	· It specifies principles, requirements and guidelines for the quantification and reporting of the carbon footprint of a product (CFP), in a manner consistent with International Standards on life cycle assessment (LCA) (ISO 14040 and ISO 14044).
GHG Protocol (2011)	· The Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard	· It can be used to understand the full life cycle emissions of a product and focus efforts on the greatest GHG reduction opportunities.
IPCC (2006)	· Guidelines for building inventory to assess national greenhouse gas emissions	· General guidelines and reporting, energy, industrial processes and product use, agriculture, forestry and other land use. It provides methods and emission coefficients for calculating each greenhouse gas emission separated by waste.
RICS (2017)	· Whole life carbon assessment for the built environment	· Whole life thinking involves considering all life cycle stages of a project, from raw material extraction, product manufacturing, transport and installation on site through to the operation, maintenance and eventual material disposal (refers to EN 15978)
Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2011)	· Carbon emissions calculation methods and guidelines for roads, railways and buildings	· Presented GHG calculation plan step by step by dividing the life stage of the facility into design, construction, operation, dismantling and recycling phases

2.2. 국내외 연구사례

광해방지사업은 제조업과는 다르며, 비교적 건설업과 유사한 특징이 있으므로 일반적인 제품이나 사업장에서 배출되는 온실가스 측정 및 산정하는 방법을 그대로 적용하기에는 여러가지 제약 조건이 있다. 광해방지사업이 이루어지는 특정 시설의 운영 중 배출되는 온실가스의 경우 국제적으로 통용되는 탄소배출량 산정 가이드라인을 활용할 수 있으나, 비정기적으로 발생하는 사업과 사업 수행 주체에 따라 산발적으로 이루어지는 사업, 그리고 시공단계의 경우 기존 온실가스 산정 가이드라인을 바로 적용하기에는 여러 가지 제약 조건이 따른다.

광해방지사업에 대하여 온실가스 배출량을 산정하고 관리하기 위한 방안을 마련하는 연구는 직접적으로 이루어지지 않았으나 인프라시설 중심으로 도로, 철도 등에 대해서 탄소배출량을 정확하고 정량적으로 산정하기 위한 연구들이 진행된 바 있다. 대표적인 인프라시설인 도로 및 철도를 중심으로 탄소배출량을 정량적으로 산정하기 위한 연구들이 국내외 여러 연구기관을 통하여 이루어지고 있다.

도로의 경우 도로시설물의 life cycle을 시공, 운용, 해체 및 재활용단계로 구분하고 탄소배출량 산정 절차를 평가 범위 및 경계설정, 데이터 수집 및 분석, 탄소배출량 산정이라는 3단계에 걸쳐 전과정 탄소배출량을 산정하는 방법을 제시하고, 현재 건설 중인 도로 일부 구간에 대해 사례분석을 수행하였다(Kwak et al., 2012). 또한, 탄소중립형 도로기술개발 연구단에서는 도로의 전과정 탄소배출량 산정 방법을 활용하여 도로시설물의 시공단계, 운용 및 유지관리 단계에서 발생하는 탄소의 정량적 산정을 쉽게 할 수 있도록 탄소배출원단위를 제시하고, 이를 활용하여 고속국도 및 일반국도의 탄소배출량을 정량적으로 산정 후 활용방안을 제시하였다(Kwak et al., 2015).

국외에서는 도로의 건설활동 중 포장시스템을 중심으로 포장시스템별 탄소배출량을 산정하는 연구가 수행되었으며, 고속도로 건설시 다양한 포장 시스템의 전과정 탄소배출량 산정을 위하여 “Carbon Footprint Calculator”라는 toolkit을 개발하였다(Shashwath et al., 2016). 또한, World Bank에서는 개발도상국에서 도로 건설 및 재포장 등에 관하여 전과정 탄소배출량을 산정하고 저감하는 방법을 개발하고 이를 활용할 수 있는 “ROADCO Calculator”를 개발하였다.

철도의 경우 2015년 개통된 오송-광주간 고속철도 노선 건설단계의 온실가스 배출량을 정량적으로 산정하기 위하여 인프라 구축에 사용된 BOM(Bill of Materials)을 활용하여 자재 사용과 에너지소비에 따른 탄소배출량을 산출하였으며, 토목시공, 전기시공 등을 포함하여 모든

세부 공종에 대하여 탄소배출량의 기여도 분석을 수행하였다(Lee et al., 2020).

UIC(Union of Railway)에서는 친환경 교통수단의 비교를 위하여 Valence에서 Marseille까지의 "LGV Méditerranée"와 Tours에서 Bordeaux까지 새로 건설된 프랑스의 "South Europe Atlantic-Project"라는 4개의 신규 고속철도 노선에 대한 전과정 탄소배출량을 산정하여 제공하고 비교하였다(T. Baron et al., 2011).

국가 정책 기조에 따라 광해방지사업도 국내외 벤치마킹을 통해 사업의 전주기적 life cycle 관점에서 탄소배출량을 세분화하여 검토하고, 이를 바탕으로 정량적인 탄소배출량 산정기반 구축과 대응전략을 구상할 필요가 있다.

3. 광해방지사업의 전과정 탄소배출량 산정 방법

광해방지사업의 전과정 탄소배출량 산정 방법은 광해방지사업의 세부 사업별로 사업 추진절차와 ISO 14064, EN 15978, 국토교통부의 시설물별 탄소배출량 산정지침 그리고 RICS(Royal Institution of Chartered Surveyors)의 “Whole life carbon assessment for the built environment”를 준용하여 검토하였다. 우선 광해방지사업의 life cycle 단계를 구분하였으며, 분석하고자 하는 주요 사업에 대하여 평가범위 및 경계설정, 활동 데이터 수집 및 분석 그리고 탄소배출량 산정으로 3단계로 검토하였다(Table 2).

3.1. 평가 범위 및 경계 설정

『광산피해의 방지 및 복구에 관한 법률』은 광산피해를 적정하게 관리함으로써 자연환경을 보호하고, 모든 국민이 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 하기 위하여 제정된 법률로 제11조에 광해방지사업의 범위를 가행광산·휴지광산 및 폐광산에서 발생하였거나 발생이 예상되는 광해의 방지 및 훼손지 복구사업, 폐광산에서 사용하지 아니하고 있는 시설물·자재 등의 철거 및 처리, 가행광산·휴지광산 및 폐광산에 대한 광해방지시설의 설치·운영 및 관리 등 6개 항목으로 정의하고 있다(Mine Reclamation Corp., 2021). 따라서 본 연구에서는 평가대상을 「광산피해의 방지 및 복구에 관한 법률」 제11조에서 정의된 광해방지사업으로 한정하고, 세부 사업의 추진 범위에 따라 광해방지기본계획에 따라 수행되는 기초 및 상세조사, 정밀조사(Pilot test 등), 시공 및 사후관리 까지를 포함하도록 검토하였다.

탄소배출량 산정은 기후변화협약에서 제시한 바와 같이 IPCC의 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential) 값을 적용하여 CO₂-equivalent (CO₂-eq.)로 산정하였다. 세부 온실가스 배출원은 WRI/WBCSD GHG Protocol에

Table 2. Estimation methods of GHGs emission 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 3. GHGs emissions source of Mine reclamation Projects in life cycle stage

Category		Life cycle stage	List
Scope 1	Direct emission	Construction	· Fossil fuel usage of used equipment when material transportation · Fossil fuels(diesel, gasoline) usage of used equipment for construction work like earth work, excavation
		Operation and maintenance	· Fossil fuel usage for maintenance of facilities(maintenance, repair and etc.)
		Demolition and recycling	· Fossil fuel usage of equipment for waste transport · Fossil fuel usage of used construction equipment for blasting and cracking
Scope 2	Indirect emission	Construction	· Used utilities(electricity, gas and etc.) for heating and cooling in field office · Operated equipment which use electricity
		Operation and maintenance	· Used utilities(electricity, steam and etc.) for heating and cooling of road infrastructure(rest area, management office and etc.) · Used utilities(electricity) in road infrastructure(tunnel lamp at night, vent and etc.)
		Demolition and recycling	· Used utilities(electricity, gas and etc.) for heating and cooling in field office · Operated equipment which use electricity
Scope 3	Other indirect emission	Construction	· Used construction materials(cement, ready-mixed concrete, steel, and etc.) · Used water for washing of transport equipment and construction equipment · Other indirect emissions that isn't included direct and indirect emission
		Operation and maintenance	· Used construction materials(cement, steel, and etc.) for maintenance and repair · Water usage · Other indirect emissions that isn't included direct and indirect emission

따라 직접배출(scope 1), 간접배출(scope 2), 그 밖의 간접배출(scope 3)로 구분하였다(Table 3).

광해방지사업의 life cycle은 EN 15978에서 제시한 시스템 경계를 준용하여 계획 및 조사단계, 시공단계, 운영단계, 해체 및 폐기단계로 구분하고, 광해방지사업의 세부 사업별로 다르게 시스템 경계를 검토하였다(Fig. 1).

광해방지사업은 『광산피해의 방지 및 복구에 관한 법

률』 제11조(광해방지사업 범위)에 따라 광해방지사업의 범위를 명시적으로 규정하고 있다. 따라서, 『광산피해의 방지 및 복구에 관한 법률』 및 관련 규정에 따라 9개의 대분류로 구분하였고, 세분류는 그동안 추진되고 있던 구체적인 세부 목적물의 양태에 따라 22가지로 세분화하였다(Fig. 2).

Fig. 1. System boundary for Mine reclamation Projects.

Classification (9 projects)	Sub-Classification (22 projects)	Upfront carbon (A)					Use stage embodied carbon (B)							End of life carbon (C)				Reuse, Recovery, Recycling (D)
		Product stage			Construction		Usage							End of life stage				
		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	
Improving Water quality (Mine Drainage Treatment)	Passive Treatment Systems	○	○	○	○	○	-	○	○	-	△	-	-	○	○	○	○	○
	Active Treatment Systems	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○
	Active Mine Ponds Installation	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○
Improving and Restoring Polluted Soil (Soil Remediation)	Abandoned Metal mine	○	○	○	○	○	△	△	-	-	△	-	-	-	-	-	-	-
	Abandoned Asbestos Mine	○	○	○	○	○	△	△	-	-	△	-	-	-	-	-	-	-
	Abandoned Coal Mine	○	○	○	○	○	△	△	-	-	△	-	-	-	-	-	-	-
Restoring Forest (Reforestation & Land Reclamation)	Reforestation & Land Reclamation	○	○	○	○	○	△	△	-	-	△	-	-	-	-	-	-	-
	Other construction works	○	○	○	○	○	△	△	-	-	△	-	-	-	-	-	-	-
Stabilizing the ground (Mine Subsidence Prevention)	Backfilling & Ground Reinforcement	○	○	○	○	○	-	△	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○
	Emergency Actions	○	○	○	○	○	-	△	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○
	Subsidence Monitoring	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Preventing Noise, Vibration & Dust	Dust-Proof Covers	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○
	Dust-Proof Nets	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○
	Dust-Proof Walls	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○
	Washing Wheel Facilities	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Watering Facilities	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Preventing Damage from Mineral Residue (Mine Trailing Treatment)	landfill covers of mine tailing dams	○	○	○	○	○	-	△	-	-	△	-	-	○	○	○	○	○
	Upper & Vertical Cut-off Walls	○	○	○	○	○	-	△	-	-	△	-	-	○	○	○	○	○
	Permeable Reactive Barriers(PRBs)	○	○	○	○	○	-	△	-	-	△	-	-	○	○	○	○	○
	Small Mine Tailing Treatment	△	△	△	△	△	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○
Demolishing Closed Mine Facilities	Demolishing Abandoned Structures & Facilities	○	○	○	○	○	-	△	-	-	△	-	-	○	○	○	○	○
Mine Reclamation & MineGIS R&D	Mine Reclamation technology and Information System Development	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	△	△	△	△	△	△	△

○: Including, △: Including some

* "A1~C4" means the delimiter of "System boundary Suggested By EN 15978" in Fig.1.

Fig. 2. System boundary for every detailed sub-category of Mine Reclamation Projects.

3.2. 활동 데이터 수집 및 분석

광해방지사업의 탄소배출량을 정량화 하기 위하여 산정코자 하는 평가 범위 및 경계설정을 완료하고, life cycle 단계별 탄소배출량을 산정하기 위해 필요한 광해방지사업 데이터를 수집하고 분석하였다. 시공단계와 같이 건설 시공과 유사한 활동이 이루어지는 경우, 사업 수행 시 사용되는 자재의 종류와 수량, 장비의 종류와 연료소비량 등의 정보를 확인할 수 있는 설계내역서 및 준공도서 등을 필수로 수집하였으며, 이를 활용하여 세부 공종별

로 자재투입 및 장비사용량을 분석한다. 나머지 단계에서는 배출원은 WRI/WBCSD GHG Protocol에 따라 배출원별 소비량을 확인할 수 있는 자료를 수집하고 적용하였다.

3.3. 탄소배출량 산정

기본적으로 탄소배출량은 3.2 데이터 수집 및 분석 과정에서 수집된 자료를 바탕으로 각각의 탄소배출계수를 곱하여 산정하는 IPCC 국가 인벤토리 가이드라인의 탄소배출량 산정방식을 적용하였다(IPCC, 2006). 탄소배출

Fig. 3. Estimation Process of GHGs emissions in the construction stage.

Table 4. Calculation of life cycle of GHGs emission and 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)	Σ[Material input (kg, m ³ etc) × Emission coefficient(tGHG(CO ₂ /CH ₄ /N ₂ O)/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)	Σ[Energy usage(kWh, m ³ etc) × Permutations(MJ/kWh, m ³ etc) × Emission coefficient (tGHGs (CO ₂ /CH ₄ / N ₂ O)/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

량 산정을 위한 배출계수는 온실가스에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침(환경부 고시 제2016-255호)에서 제시하는 에너지원별 배출계수를 적용하였고, 국내 적정 배출계수가 없는 경우, GLAD, ELCD, ecoinvent 등의 국제 공유 LCI DB를 사용할 수 있다. 시공단계의 경우, 탄소배출원이 세부 공종별로 산정되어 도출되어야 하므로 공종별 자재투입 및 장비사용에 따른 탄소배출량을 산정하며, 대상 공종에 자재투입 또는 장비 사용에 따른 탄소배출량이 하나만 존재할 경우 그 값이 해당 공종의 탄소배출량이 될 수 있다. 또한, 공종별 탄소배출량을 합산하여 상위 공종, 사업별 탄소배출량을 산정할 수 있다(Fig. 3). 전과정 온실가스 배출량 산정방법은 Table 4에 수식으로 표현하였다.

3.4. 광해방지사업 전과정 탄소배출량 산정방법의 적용 한계

광해방지사업은 기초 및 상세조사, 정밀조사(pilot test 등), 기본 및 실시설계, 시공, 유지관리 및 모니터링으로 진행되나 본 연구에서는 1단계 기초연구로서 탄소배출량 산정방법은 기초 및 상세조사, 정밀조사와 관련한 배출활동에 대해서는 적용을 제한하였다. 광해방지사업에서 기초 및 상세조사, 정밀조사에 해당하는 배출활동은 해당 사업을 추진하기 위하여 병행 혹은 복수가 함께 수행되는 사례가 있으며, 해당 활동을 위한 이동연소원의 사용량 등을 특정하여 구분하거나 데이터 구득이 어려운 여건이다. 이 부분은 한국광해광업공단의 온실가스 인벤토리 구축시 scope 1과 scope 2의 연간 총량 관리 개념의 방식으로 기초 데이터를 축적한 이후 각 사업별로 정량화하거나, 고도화하여 일부 top-down 방식으로 할당하거나 데이터 수집 단계에서부터 각각의 활동별로 활동 데이터를 수집할 수 있는 방식의 추진이 필요하다.

4. 결 론

광해방지사업은 광해방지의무자가 직접시행하는 명확한 법률적 경계 내에서 시행되는 사업이지만, 그 사업 추진 절차별로 다양한 이해관계자의 활동에 의하여 진행되고 있다. 따라서, 온실가스를 관리하고 저감하기 위한 총량관리방식을 적용하여 사업 관리주체의 온실가스 배출량만을 측정하고 관리하는 방식으로 탄소배출량을 산정하기 방식은 원론적인 온실가스 저감 및 탄소중립의 취지에 부합하지 않는 방식으로 사료된다. 그러므로 광해방지사업의 적절한 탄소배출량의 관리와 탄소중립 목표달성을 위하여 세부 사업별로 추진 절차에 따라 맞춤형으로 life cycle 설정하여 부합화하고, 광해방지사업 전주

기에 대하여 전과정 평가방식으로 탄소배출량을 산정하고 관리하는 것이 합리적인 것으로 사료된다.

광해방지사업에 대하여 온실가스 배출량을 정량적으로 산정하고 관리 전략을 수립 및 시행된 바 없으므로, 탄소배출량 산정 방식 연구는 총괄 광해방지사업의 온실가스 관리 및 탄소중립 실현을 위한 선제적 기반 검토이라는 측면에서 연구 가치가 있다. 또한, 광해방지사업별로 시범 적용 및 분석을 통해 탄소배출량 산정을 시행하고 환류 절차를 통해 지속적으로 보완해 나아갈 계획이다. 또한 이를 기반으로 광업 전주기로의 확대 적용도 검토되어야 할 것이다.

전세계적으로 간접배출(scope 3)에 대한 LCI DB(Life Cycle Inventory Database)가 지속적으로 개발 및 보완되고 있으며, 축적된 광해방지 품셈을 활용하여 광해방지사업의 각 추진사업에 맞춤형 공종별 원단위 검토를 지속적으로 추진코자 한다. 다만, 지금까지 국내외에 기 구축된, 그리고 현재 지속적으로 구축되고 있는 탄소관련 DB 자체의 신뢰성과 이 DB를 광해방지사업의 각 추진사업에 적용하는 과정에서의 신뢰성은 앞으로 해결해야 하는 과제로 남아있다.

사 사

본 연구는 한국광해광업공단의 “탄소중립을 위한 광해방지사업 공종별 이산화탄소 발생량분석 및 평가 연구”의 지원으로 수행되었습니다.

References

- IPCC (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S, Buendia L., Miwa K., Ngara T. 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 [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Portner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pean, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp
- ISO 14064-1:2018 (2018) Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals
- ISO 14064-2:2019 (2019) Greenhouse gases — Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring

- and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements
- ISO 14064-3:2019 (2019) Greenhouse gases — Part 3: Specification with guidance for the verification and validation of greenhouse gas statements
- ISO 14067:2018 (2018) Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification
- Kwak, I.-H., Park, K.-H., Hwang, Y.-W. and Park, J.-H. (2012). Development and Application of Carbon Emissions Estimation Methodology during the Life Cycle of Road. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, v.34(6), p.382-390. doi: <https://doi.org/10.4491/KSEE.2012.34.6.382>
- Kwak, I.-H., Kim, K.-H., Cho, W.-H., Park, K.-H. and Hwang, Y.-W. (2015) Calculation of Basic Unit of Carbon Emissions in Construction Stage of the Road Infrastructure. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, v.37(2), p.107-112. doi: <https://doi.org/10.4491/KSEE.2015.37.2.107>
- Kwak, I.-H., Kim, K.-H., Wie, D.-H., Park, K.-H. and Hwang, Y.-W. (2015) Calculation of Basic Unit of Carbon Emissions in Operation and Maintenance Stage of Road Infrastructure. *Journal of Korean Society of Transportation*. Korean Society of Transportation, v.33, n.3, p.237-246. doi: <https://doi.org/10.7470/jkst.2015.33.3.237>
- Lee, J.-Y., Lee, C.-K. and Chun, Y.-Y. (2020) Greenhouse gas emissions from high-speed rail infrastructure construction in Korea. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v.87, 102514. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102514>.
- Minister of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2011) A Study on the Calculation of Carbon Emissions in Each Facilities-final Report, South Korea
- Mine Reclamation Corp. (2021) Mine reclamation, <http://www.mireco.or.kr/commonEng/eng#1>
- Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) (2017) Whole life carbon assessment for the built environment, RICS professional statement, UK, 1st edition
- Shashwath Sreedhar, Prathmesh Jichkar, Krishna Prapoorna Biligiri (2016) Investigation of Carbon Footprints of Highway Construction Materials in India. *Transportation Research Procedia*, v.17, p.291-300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.095>.
- T. Baron (SYSTRA), M. Tuchschnid, G. Martinetti and D. Ppion (2011) High Speed Rail and Sustainability. Background Report: Methodology and results of carbon footprint analysis, International Union of Railways (UIC), Paris.
- World Bank (2011) Transport Greenhouse Gas Emissions Mitigation in Road Construction and Rehabilitation: A Toolkit for Developing Countries
- World Resources Institute (WRI) and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2011) GHG Protocol: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard