

Research Paper

레디믹스트 콘크리트의 환경성적표지 현황 및 특성 분석

Analysis of the Present Status and Characteristics of Environmental Product Declaration of Ready-mixed Concrete

김낙현¹ · 김광현² · 박원준³ · 노승준^{4*}

Kim, Rak-Hyun¹ · Kim, Gwang-Hyun² · Park, Won-Jun³ · Roh, Seung-Jun^{4*}

¹Chief Executive Officer, Greeners Corporation, Ansan, 15455, Korea

²Researcher, Department of Construction Life Cycle Assessment, Greeners Corporation, Ansan, 15455, Korea

³Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Kangwon National University, Samcheok, 25913, Korea

⁴Assistant Professor, School of Architecture, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, 39177, Korea

*Corresponding author

Roh, Seung-Jun
Tel : 82-54-478-7595
E-mail : roh@kumoh.ac.kr

Received : March 3, 2022

Revised : March 23, 2022

Accepted : March 30, 2022

ABSTRACT

Recently, in the concrete industry, the development and commercialization of low-carbon products of ready-mixed concrete have emerged as part of the efforts to realize carbon neutrality. This study aims to investigate the current status of environmental product declaration (EPD) of ready-mixed concrete and to analyze the characteristics of carbon emissions by compressive strength, life cycle stage, and region. To this end, the related certification system requiring the calculation of carbon emissions in the concrete industry was analyzed. The target of analyzing the current status of carbon emissions was set as a product of ready-mixed concrete that acquired EPD certification based on the life cycle assessment method. In addition, the trend of carbon emissions according to each characteristic was reviewed by analyzing carbon emissions by the life cycle of ready-mixed concrete products, analyzing carbon emissions by standard, and analyzing carbon emissions by region. As a result, the carbon emissions in the pre-production stage were 99% compared to total carbon emissions, and as it increased from 18MPa to 40MPa, carbon emissions also increased. Even with the same specifications, the carbon emissions in the capital region were higher than in the southern region.

Keywords : ready-mixed concrete, environmental product declaration, environmental impact, CO₂, life cycle assessment

1. 서론

최근 콘크리트 산업은 탄소 중립 미래에 대한 공동목표 달성에 이바지하기 위해 콘크리트의 생산공정과 에너지 관련 탄소배출 저감 및 제거 기술 개발에 주력하고 있으며, 원재료의 채취 및 가공에서부터 콘크리트의 제조, 수송, 사용, 폐기 등 콘크리트 전과정을 대상으로 한 환경영향 평가 및 인증제도를 운영하고 있다. 2020년 9월 국제 시멘트·콘크리트 협회(GCCA, Global Cement and Concrete Association)는 탄소 중립 콘크리트 2050 기후 선언을 발표하여 탄소배출 저감 및 제거 기술 개발에 관한 로드맵을 제시하였고, 국제표준인 ISO 13315(Environmental management for concrete and concrete structures)와 유럽표준인 EN 16757(Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Product Category Rules for concrete and concrete elements) 등을 통해 콘크리트의 환경성능 평가를 위한 세부 방법과 내용이 정립되었다[1-3]. 북미 지역 콘크리트 협회(NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association)는 콘크리트 제품 단위의 환경성 선언(EPD,



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Environmental Product Declaration) 인증인 Concrete product EPD와 사업장 단위의 Sustainable Concrete Plant Certification 을 운영하고 있으며, 미국 Underwriter's Laboratory(UL)는 UL EPD, 세계지속가능발전기업협의회(WBCSD, World Business Council for Sustainable Development)는 Concrete Sustainability Council's certification 운영을 통해 탄소배출량을 포함하여 환경영향이 적은 콘크리트의 사용을 유도하고 있다. 독일 Institut Bauen und Umwelt e.V.는 콘크리트 제품 사용단계의 CO₂ 흡착성능까지도 고려하는 EPD를 운영하고 있다[4-6].

이러한 추세에 따라 국내 콘크리트 산업에서도 제품의 환경영향을 정량적으로 평가하고, 이를 인증하는 EPD 인증제도가 환경성적표지인증, 저탄소제품인증이라는 명칭으로 운영되고 있다. 국내 EPD 인증은 전술한 해외의 사례처럼 콘크리트에 특화된 인증제도는 아니나, 2016년 9월 녹색건축인증(G-SEED, Green Standard for Energy and Environment Design)의 개정 이후 콘크리트와 같은 구조재료의 EPD 취득이 녹색건축인증 점수 취득에 유리한 입지를 가짐에 따라 레드믹스트 콘크리트, 콘크리트 2차 제품 등 콘크리트 산업 제품의 환경성적표지 및 저탄소제품인증 취득사례가 급격히 증가하고 있다. 하지만 국내 콘크리트 산업의 저탄소제품인증 취득은 환경성적표지인증 대비 10% 미만으로 아직 미미한 실정이다[7,8].

본 연구는 레드믹스트 콘크리트의 환경성적표지 현황 조사와 이를 통한 레드믹스트 콘크리트 규격, 생애주기, 권역별 탄소배출량 특성 분석을 목적으로 한다. 이를 통해 레드믹스트 콘크리트 저탄소제품인증 확대를 위한 기초자료를 제공하고, 콘크리트의 환경성적표지인증 활성화에 이바지하고자 한다.

2. 콘크리트산업과 유관 제도 현황

2.1 녹색건축인증

국내 녹색건축인증인 G-SEED는 건축물의 자재생산단계, 설계, 건설, 유지관리, 폐기에 걸쳐 건축물의 전 과정에서 발생할 수 있는 에너지와 자원의 사용 및 오염물질 배출과 같은 환경 부담을 줄이고, 쾌적한 환경을 조성하기 위한 목적으로 건축물의 환경 친화 정도를 평가하여 인증하는 제도이다. G-SEED는 건축물에 대한 친환경성을 종합적으로 평가하는 국내 유일의 평가시스템이며, 정부와 지방자치단체는 공공건축물을 대상으로 인증취득을 의무화하고, 인증을 취득한 녹색건축물을 대상으로 지원정책을 발굴하여 인센티브를 제공하고 있다. G-SEED는 건축물 사업승인·허가단계(설계단계)에서 평가되는 예비인증과 건축물 사용승인·검사(준공)단계에서 평가되는 본인증으로 구분하여 운영되고 있다. G-SEED의 시행 초기에는 인증실적이 저조하였으나, 2006년 공동주택 분양가 가산책정항목 도입에 따른 공동주택 인증 확대, 2010년 환경개선 부담금, 취득등록세 경감 및 공공건축물 인증 의무에 따른 인증 건수 증가를 기점으로 2020년 12월을 기준으로 예비인증 9,806건, 본인증 6,415건, 총 16,221건의 인증이 이루어졌으며, 2020년에 취득한 인증 건수는 2,323건으로 매년 증가 추세에 있다[9]. G-SEED는 공공기관의 의무적용과 녹색건축인증과 에너지효율등급인증을 2등급 이상 동시에 취득했을 때 세제 감면 혜택을 주고 있어 인증 건수가 지속적으로 증가하고 있는 것으로 판단된다. 또한, G-SEED는 현행법령상 3,000㎡ 이상 공공건축물에만 의무사항이지만 수도권, 부산, 광주, 울산, 제주 지역의 경우 지자체가 조례를 통해 공동주택을 비롯한 민간 건축물에도 의무화되고 있으며, 충청권, 강원권의 민간건축물에도 확대되는 추세에 있다.

2016년 9월 개정 시행되고 있는 녹색건축 인증기준의 콘크리트를 비롯한 친환경 건설자재 배점은 주거건축물의 경우 12점, 업무용 건축물을 포함한 비주거 건축물은 12점으로 점수가 대폭적으로 확대 적용되었다[10]. Table 1, Table 2에서와 같이 “3.1 환경성선언(EPD) 제품의 사용” 및 “3.2 저탄소 자재의 사용”과 관련된 환경성적표지제도는 제품의 생산, 수송, 사용, 폐기 등의 전과정에서 발생하는 환경영향을 정량적으로 표시해주는 제도이다. EPD 제품은 환경성적표지 제품, 탄소성적표지 제품을 포함한 운영기관의 장이 정한 제품을 말하며, 기타 EPD 제품으로 인정이 필요한 경우 운영세척에서 정한 기준과 절차에 따라 인정될 수 있다. 저탄소 건축자재는 제조 및 사용단계에서 배출이 낮거나 기존 대비 탄소배출을 줄인 자재

이며, 이에 대한 인증은 환경성적표지제도내 저탄소제품인증에서 실시하고 있다.

건축물은 다른 산업에 비해 자원 소비가 많고 생애주기가 길기 때문에 설계 초기단계에서 건축물의 환경부하 절감요소가 필수적으로 검토되어야 한다. 건축공사에서 초기에 투입되는 건설자재에 의한 환경부하를 절감하기 위하여 녹색인증제도에서는 자재의 환경영향을 규명한 EPD 제품, 자재의 탄소배출량을 저감하는 저탄소 자재 등을 사용하도록 권고하고 있다. Table 3에서와 같이 각각의 녹색건축자재 적용 비율을 높이기 위하여 전체 자재공사비 대비 투입되는 녹색건축자재의 비율

Table 1. Certification items 3.1 - Use of the Environmental Product Declaration(EPD)

Category	Contents		
Purpose	The awareness on the environmental effect is raised via using the environmental product declaration(EPD) for main building members.		
Method	Evaluated according to the number of EPDs for each main building member		
Scoring	4 point		
	• Grade = (weight) × (assigned score)		
	Category	Use of the EPD	Weight
Calculation criteria	Grade 1	In case that at least six or more EPDs are used for more than six types of main building members	1.0
	Grade 2	In case that at least five or more EPDs are used for more than five types of main building members	0.8
	Grade 3	In case that at least four or more EPDs are used for more than four types of main building members	0.6
	Grade 4	In case that at least three or more EPDs are used for more than three types of main building members	0.4

Table 2. Certification items 3.2 - Use of low carbon materials

Category	Contents		
Purpose	By using low carbon-emitted building materials, greenhouse gases emitted throughout the whole building life cycle can be reduced and development of low carbon building materials is encouraged.		
Method	Evaluation according to the number of low-carbon material uses		
Scoring	2 point		
	• Grade = (weight) × (assigned score)		
	Category	Use of low carbon materials	Weight
Calculation criteria	Grade 1	In case that more than 7 low carbon materials are used	1.0
	Grade 2	In case that more than 5 low carbon materials are used	0.8
	Grade 3	In case that more than 3 low carbon materials are used	0.6
	Grade 4	In case that more than 1 low carbon materials are used	0.4

Table 3. Certification items 3.4 - Ratio of applied green building materials

Category	Contents		
Purpose	It aims to raise the expansion of the use of green building materials and reduce the effect on environments due to materials by managing a ratio of the applied green building materials to building structures.		
Method	Evaluated by calculating a ratio of cost of applied green building materials out of total construction cost.		
Scoring	4 point		
	• Grade = (weight) × (assigned score)		
	Category	Use of low carbon materials	Weight
Calculation criteria	Grade 1	In case that a ratio of applied green building materials is more than 7% of total construction cost	1.0
	Grade 2	In case that a ratio of applied green building materials is more than 5% of total construction cost	0.8
	Grade 3	In case that a ratio of applied green building materials is more than 3% of total construction cost	0.6
	Grade 4	In case that a ratio of applied green building materials is more than 1% of total construction cost	0.4

에 대한 등급 구분을 하고 이를 평가하여 현장에서 친환경건축자재의 사용을 확산시키고자 하고 있다. 과거 환경성적표지 인증을 취득한 건축자재는 주로 마감재 위주의 인증이 대다수를 이루고 있었으나, 본 항목이 신설됨에 따라, 콘크리트와 같은 구조재의 환경성적표지 인증 취득사례가 증가하고 있다.

2.2 환경성적표지인증

환경성적표지제도는 2001년부터 환경부 주관하에 운영된 정주주도 인증제도로써 환경성에 관한 정량적인 정보를 제공하여 환경성 수준에 따라 소비자의 차별구매를 유도하는 제도이다[11].

환경성적표지제도는 10종의 환경 영향범주(탄소발자국, 물발자국, 자원발자국, 산성비, 오존층영향, 부영양화, 광화학 스모그, 생태독성, 인체독성, 생물다양성 영향)를 계량적으로 평가하는 「1단계: 환경성적표지인증」과 저탄소 기준을 충족 제품에 「2단계: 저탄소제품인증」을 부여하는 2단계로 구분된다. 「1단계: 환경성적표지인증」은 통상적으로 독성류 3종을 제외한 7종의 환경 영향범주(탄소발자국, 물발자국, 자원발자국, 산성비, 오존층영향, 부영양화, 광화학 스모그)의 환경성을 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment) 기법에 기반하여 산정한다. 「2단계: 저탄소제품인증」은 「1단계: 환경성적표지인증」의 영향범주 가운데 탄소발자국만을 대상으로 하여 최소탄소감축률 3.3% 이상이거나, 최대허용탄소배출량 이하일 경우에만 부여된다.

LCA는 제품의 기능 및 기능단위, 시스템경계, 데이터의 품질요건, 할당, 데이터의 수집 및 계산방법 등 적용방법론을 동일하게 규정함으로써 제품군내에 여러 제품에 대한 환경성을 비교 가능하도록 한다. 환경성적표지인증의 제품군은 생산재, 내구재, 비내구재, 서비스, 에너지사용 내구재로 분류되며, 이때 콘크리트를 비롯한 건축자재는 중간제품을 의미하는 생산재로 분류되어 있다. 특히 G-SEED가 2016년 개정된 이래, 콘크리트를 비롯한 건축자재의 환경성적인증이 급격하게 증가하고 있다. 환경성적표지 제도 운영 현황 및 발전 방안 보고에 따르면, 인증제도 전환시점인 2015년과 2016년을 비교생산재 중 건축자재의 인증비율이 2015년 36%에서 2016년 47% 수준으로 건축자재의 환경성적인증이 급격하게 증가하였다[12]. Figure 1에서와 같이 2021년 12월을 기준으로 환경성적인증이 유효한 제품은 총 1,455개로 생산재 1,193개, 내구재 3개, 비내구재 168개, 서비스 15개, 에너지사용 내구재 77개로 건축자재가 주류를 이루는 생산재의 인증비율이 전체의 82%를 차지하고 있다. 이때 「2단계: 저탄소제품인증」은 294개 제품이 차지하고 있으며, 대부분 중견기업 이상의 대형 기업들이 저탄소 제품인증을 취득하였다[13,14].

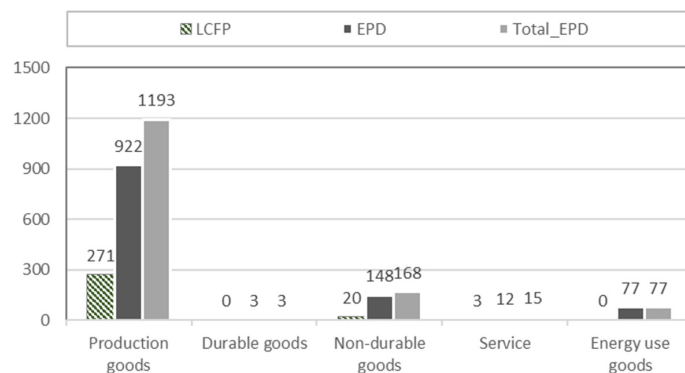


Figure 1. Status of EPD by type of goods

3. 분석 대상 및 방법

3.1 레디믹스트콘크리트 환경성적산정기준

환경성적표지인증을 받기 위해서는 제품별 작성지침(PCR, Product Category Rules)에 따라 환경영향범주별 영향평가를 산정하여야 한다. 레디믹스트 콘크리트의 작성지침(EPD-PCR-010)이 마련되어 제조전단계, 제조단계의 특화된 환경성적 산정 시나리오를 통해 규격별 환경성 정보를 보다 객관적으로 산정이 가능하다. 작성지침은 제품 전과정 환경성적에 대하여 국내외 제품환경정책과 연계 가능하도록 하기 위하여 국제적으로 통용되는 ISO 14020s 및 The GHGs as Protocol - Product life cycle accounting and reporting standard 등의 요건을 참조하고 있다.

탄소배출량으로 대표되는 온실가스 배출량을 산정하는 기준은 다음과 같다. 온실가스는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)등의 온실가스 물질로 구분한다. 각 온실가스는 이산화탄소 상당가로 계산한다[15-18].

환경성적표지인증은 제품 특성에 따라 기업간 거래(B2B, Business to Business)에서의 판매 단위를 기준으로 기능단위를 설정하여 환경성적을 산정하고 있다. 레디믹스트 콘크리트의 기능단위는 Table 4와 같이 레디믹스트 콘크리트[굵은골재 최대 치수(mm)-호칭강도(MPa)-슬럼프(mm), 중량(kg)] 1m³으로 정의한다. 환경성적을 산정하기 위한 시스템 경계는 Table 5와 같이 제조전단계(원자재채취/1차원료 제조/출하수송)와 제조단계를 대상으로 한다.

Table 4. Concrete Function Unit

Division	Contents
Function	Concrete Structures and Concrete Products Development
Function Unit	Concrete 1m ³
System boundary	Cradle to Gate

Table 5. Concrete System Boundary

(A) Pre-production Stage			(B) Production Stage	(C) Operation Stage	(D) End of life Stage
(1) Raw Materials Supply	(2) Raw Materials Manufacturing	(3) Transport			
●	●	●	●	-	-

3.1.1 제조전 단계 탄소배출량 산정

원료물질 생산에 따른 탄소배출량 산정을 위해 대상 물질은 다음과 같이 정의한다. 시멘트, 굵은 골재, 잔골재, 제품수, 혼화재, 혼화제를 포함하여 누적질량기여도를 산정하되 시멘트는 포틀랜드 시멘트, 고로 슬래그 시멘트로, 특수시멘트 등으로 구분하고, 혼화재는 고로 슬래그 미분말, 플라이애시, 실리카 흙 등으로 구분한다원료물질 생산에 따른 간접배출량 원료물질의 제조과정에서 발생하는 간접탄소배출량은 하기의 관계식을 적용한다[11-14].

$$G_{j-material} = \frac{\sum_i (M_{ij} \times E_i)}{P_j} \tag{1}$$

여기서, G_{j-material} : 원료물질 j제품 제조시 원료물질로 인한 탄소배출량(kg-CO₂-eq)

M_{ij} : 원료물질 j제품 생산시 i물질의 투입량(kg/yr)

E_i : i연료 배출계수(kg-CO_{2-eq}/kg)

P_j : 원료물질 j제품 연간 생산량(kg/yr)

$$G_{j-materials} = \frac{\sum_i (M_{ij} \times E_i)}{P_j} \quad (2)$$

여기서, $G_{j-energy}$: 원료물질 j제품 제조시 연료 사용에 따른 탄소배출량(kg-CO_{2-eq})

M_{ij} : 원료물질 j제품 생산시 i연료/에너지의 연간사용량(kg/yr 또는 kWh/yr)

E_i : i연료 배출계수(kg-CO_{2-eq}/kg)

P_j : 원료물질 j제품 연간 생산량(kg/yr)

$$G_{j-transportation} = \frac{\sum_k \sum_t (T_{ikt} \times E_k)}{P_j} \quad (3)$$

여기서, $G_{j-transportation}$: 원료물질 j제품 또는 1차 협력업체 생산제품의 수송으로 인한 탄소배출량(kg-CO_{2-eq})

T_{ikt} : 원료물질 j제품 또는 1차 협력업체 생산제품의 t구간동안 k수송모드에 의한 수송량(ton km),

E_k : k수송모드별 ton·km당 배출계수(kg-CO_{2-eq}/ton·km)

P_j : 원료물질 j제품 연간 생산량(kg/yr)

3.1.2 제조 단계 탄소배출량 산정

제조 단계의 탄소배출량은 공정 중 연료 및 에너지 사용에 따른 탄소배출량, 냉매 사용에 따른 탄소배출량, 폐기과정에서의 간접탄소배출량으로 구성된다. 사업장 제조 단계에서의 탄소 배출량에 대한 계산식은 다음과 같다[11-14].

$$G_{j-energy(consumption)} = \frac{\sum_i (M_{ij} \times E_i)}{P_j} \quad (4)$$

여기서, $G_{j-energy(consumption)}$: 레미콘 j규격 제조시 연료 사용에 따른 탄소 배출량(kg-CO_{2-eq})

M_{ij} : 레미콘 j규격 생산시 i연료/에너지의 연간사용량(kg/yr 또는 kWh/yr)

E_i : i연료 배출계수(kg-CO_{2-eq}/kg)

P_j : 레미콘 j규격 연간 생산량(m³/yr)

$$G_{j-refrigerant(consumption)} = \frac{\sum_i (M_{ij} \times E_i)}{P_j} \quad (5)$$

여기서, $G_{j-refrigerant(consumption)}$: 레미콘 j규격 제조시 냉매 사용에 따른 탄소 배출량(kg-CO_{2-eq})

M_{ij} : 레미콘 j규격 생산시 i냉매의 연간사용량(kg/yr)

E_i : i냉매 배출계수(kg-CO_{2-eq}/kg)

P_j : 레미콘 j규격 연간 생산량(m³/yr)

$$G_{j-waste treatment} = \frac{\sum_k \sum_i (W_{jki} \times E_{ki})}{P_j} \quad (6)$$

여기서, $G_{j-waste}$: 레미콘규격 폐기과정에서의 탄소 배출량(kg-CO₂-eq)

W_{jki} : 레미콘규격 폐기시 i폐재의 k처리방법별 발생량(kg),

E_{ki} : i폐재의 k처리방법별 배출계수(kg-CO₂-eq/kg) P_j : 레미콘규격 연간 생산량(m³/yr)

3.2 분석 대상 설정

환경성적표지인증을 취득한 레디믹스트 콘크리트 제품을 대상으로 하여 Figure 2와 같이 인증 현황을 분석하였다. 레디믹스트 콘크리트의 경우 매년 300% 이상의 인증 증가추세를 나타내고 있으며, 2021년까지 총 717건의 인증을 취득하여, 전체산업 환경성적표지인증 유효제품 가운데 약 49%를 차지하고 있다. 인증 제품의 규격 분포를 살펴보면 Figure 3과 같이 콘크리트 호칭강도는 18MPa~50MPa의 분포를 보이고 있으며, 굵은골재 최대 치수는 20mm~25mm, 슬럼프는 120~180mm, 슬럼프 플로우는 600mm을 가지고 있다. 이 가운데 일반적인 건설현장에서 수요가 가장 많은 25-21-150, 25-24-150, 25-27-150 규격의 보통강도 콘크리트를 중심으로 환경성적 및 저탄소 인증이 가장 많으며, 고층 공동주택 현장에서 적용되고 있는 25-30-150, 25-35-150 규격이 2021년에 들어 취득이 급등하고 있다. 저탄소제품 인증은 환경성적표지인증 취득 비율 가운데 10.54% 수준이다. 굵은골재 최대치수 20mm의 환경성적인증사례는 20-24-150, 20-27-150, 20-30-150, 20-40-150로, 각각 1개의 인증을 보유하고 있으며, 25-18-150, 25-21-80, 25-27-120, 25-27-180, 25-30-120, 25-30-600, 25-40-180, 25-40-600, 25-45-600, 25-49-600, 25-50-600의 규격의 경우 인증 사례가 두 개 이하인 관계로 규격별 특성을 분석하기에는 부적합하다고 판단된다.

본 연구는 Table 6과 같이 환경성적표지제도에서 인증이 유효한 2019년부터 2021년까지의 7종의 규격(25-18-180, 25-21-150, 25-24-150, 25-27-150, 25-30-150, 25-35-150, 25-40-150)의 레디믹스트 콘크리트 547종을 대상으로 탄소배출 특성을 분석하였다.

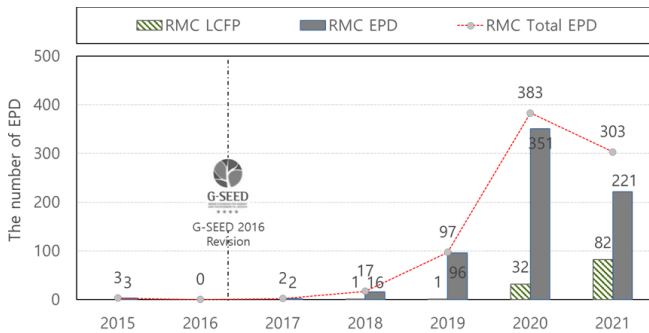


Figure 2. Status of Concrete EPD by year

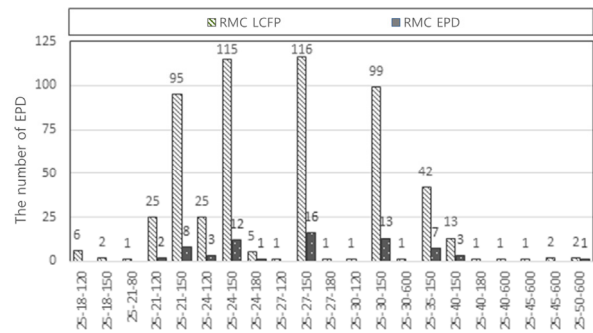


Figure 3. Status of Concrete EPD by code

Table 6. EPD for CO₂ emission characteristics of concrete

Code	25-18-120	25-21-150	25-24-150	25-27-150	25-30-150	25-35-150	25-40-150
Low-Carbon Foot Print(LCFP)	0	10	19	23	15	5	3
Environmental Product Declaration(EPD)	5	93	120	110	92	41	11
Total	5	103	139	133	107	46	14

4. 분석 결과

4.1 규격별 탄소배출 특성 분석

25-18-120부터 25-40-150까지 규격별 탄소배출 특성을 분석하였다. Figure 4에서와 같이 콘크리트의 강도가 18MPa에서 40MPa로 증가할수록 탄소배출량도 증가하는 추세를 나타내고 있다. 이는 콘크리트의 호칭강도를 구현하기 위해 탄소배출량이 높은 포트랜드 시멘트의 사용량이 증가함에 기인한 것으로 판단된다.

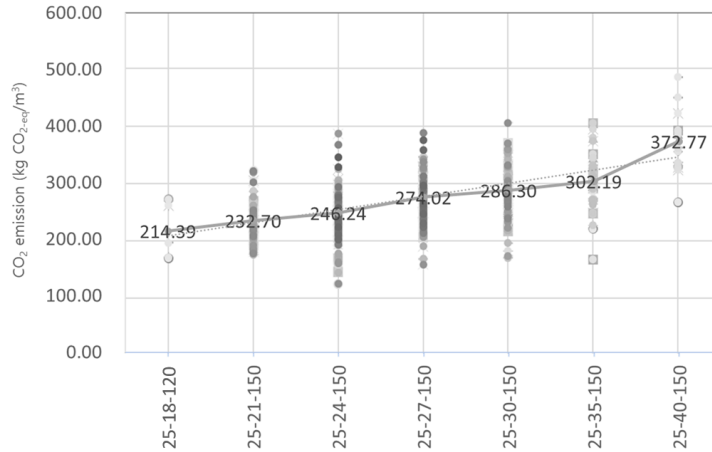


Figure 4. CO₂ emission characteristics by code

각 규격별 평균값의 크기와 비교하여 동일한 압축강도를 발현하기 위한 사례라고 하더라도 환경영향에 대한 평가결과의 편차가 발생되고 있음을 확인할 수 있다. 대표 규격인 25-21-150 레디믹스트 콘크리트의 탄소배출량평균값은 232.70 kg-CO₂eq/m³, 최소값은 175.84kg-CO₂eq/m³, 최대값은 321.68kg-CO₂eq/m³의 결과를 나타냈으며, 25-24-150의 경우 평균값은 246.24kg-CO₂eq/m³이며, 최소값은 124.97kg-CO₂eq/m³, 최대값은 386.71kg-CO₂eq/m³의 결과를 나타냈다. 25-27-150은 평균값은 274.04kg-CO₂eq/m³이며, 최소값은 158.89kg-CO₂eq/m³, 최대값은 387.74kg-CO₂eq/m³의 결과를 나타내는 등 이들의 평균값과 비교하여 최소값과 최대값이 약 1.1~1.6배 정도의 편차를 나타내었다. 이러한 편차의 발생은 시멘트를 대체 할 혼화재(고로슬래그미분말, 플라이애쉬 등)의 치환율의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

4.2 생애주기별 탄소배출 특성 분석

세부적인 탄소배출 특성을 분석하기 위해 생애주기별 탄소배출량을 분석하였다. Figure 5에서와 같이 모든 규격을 대상으로 제조전단계의 탄소배출량이 전체 탄소배출량의 98.9%~99.5% 수준인 절대다수를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 하절기의 칠리사용량이나 동절기의 보일러 등의 화석연료 사용량, 배치플랜트의 전력사용량 등에 기인한 제조단계에서 탄소배출량은 최소 0.83kg-CO₂eq/m³에서 최대 9.76kg-CO₂eq/m³수준으로 평균적으로 약 2kg-CO₂eq/m³전후의 탄소배출량을 나타낸다. 이는 제조전단계에서 1차협력사로부터 레디믹스트 콘크리트 사업장까지의 운송되는 운송단계의 탄소배출량(약 30kg-CO₂eq/m³ 전후) 수준에도 못 미치는 미미한 영향을 끼치는 것으로 분석되었다.

추가적으로 레디믹스트 콘크리트 사업장의 현장관리상태가 양호한 매출액 규모 200억 이상의 6개 레디믹스트 콘크리트 사업장을 대상으로 생애주기별 탄소배출량 평가를 수행하였다.

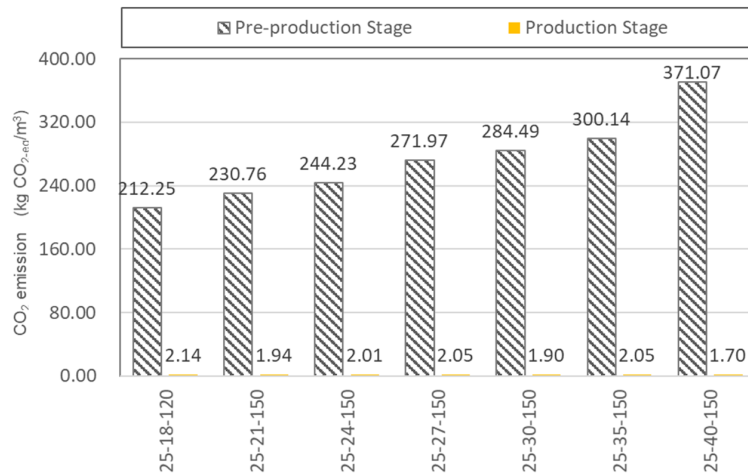


Figure 5. CO₂ emission characteristics by life cycle stage

분석 결과, Figure 6과 같이 제조단계에서 탄소배출량은 최소 1.68kg-CO₂eq/m³에서 최대 3.99kg-CO₂eq/m³수준으로 제조 전단계에서의 전체 탄소배출량의 약 99%를 차지하는 유사한 결과를 나타내었다. 레디믹스트 콘크리트 사업장의 연료전환 사업 및 사업장 설비 고도화를 통해 기대되는 탄소배출저감 기여도가 현저히 낮으며, 동절기 노후화된 경우 및 등유 보일러 설비 전환사업을 통해 얻을 수 있는 기능단위당 잠재적 탄소배출 저감량은 한자리 수 미만의 양으로 추정 할 수 있다.

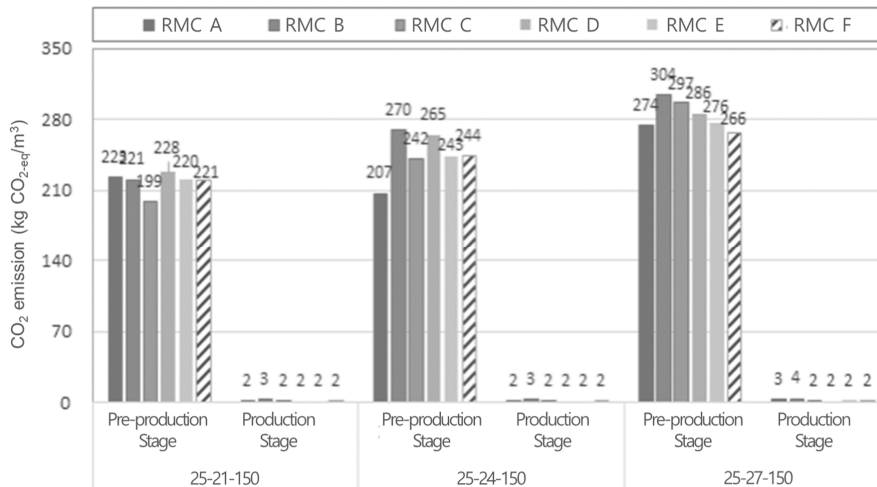


Figure 6. CO₂ emission characteristics by life cycle stage & concrete plants

4.3 권역별 탄소배출 특성 분석

2021년 하반기부터 레디믹스트 콘크리트 제조 사업장의 권역에 따른 생산량을 기준으로 영향평가 결과를 산출하는 기준이 신설됨에 따라 현재 저탄소제품 취득을 위해서는 권역별 탄소배출 특성분석이 요구된다. 이 때, 권역은 수도권, 강원권, 충청권, 전라권, 경상권, 제주권으로 구분된다. 본 절에서는 25-24-150를 대상으로 권역별 탄소배출량 특성을 분석하였다. Figure 7에서와 같이 수도권의 탄소배출량은 247kg-CO₂eq/m³으로 가장 높은 탄소배출량은 나타냈으며, 강원권은 239kg-CO₂eq/m³, 충청권은 237kg-CO₂eq/m³순으로 높은 배출량을 나타냈다.

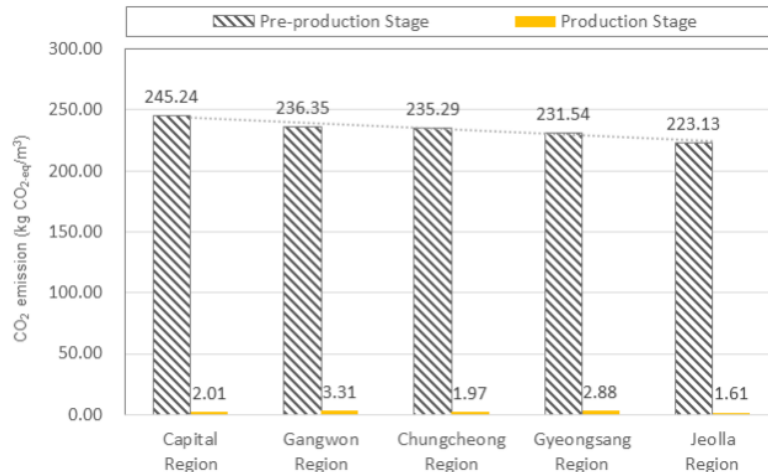


Figure 7. CO₂ emission characteristics by region

경상권의 탄소배출량은 234kg-CO₂eq/m³, 전라권의 탄소배출량은 225kg-CO₂eq/m³으로 권역별 가운데 낮은 탄소 배출 추이를 나타내고 있다. 경상권과 전라권은 수도권과 비교하였을 때 각각 13kg-CO₂eq/m³, 22kg-CO₂eq/m³의 탄소배출량의 차이를 보이고 있어, 저탄소 제품 인증 취득이 기존 권역별 구분없이 규격별로만 진행되었을 때 보다 더 어려워질 것으로 사료된다. 이러한 권역별 배출량의 차이는 탄소배출계수가 낮은 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬, 슬래그시멘트 등의 혼화재 사용에 비교적 자유로운 지역에 따라 콘크리트 배합설계의 배합변수들이 상이하게 나타난 것으로 보인다. 특히 배합설계 조건 뿐 아니라, 단가 측면에서 고로슬래그 미분말 및 슬래그시멘트 공급이 원활한 경상권 및 전라권에서는 시멘트 치환율이 높은 출하실적을 대부분 보유하고 있어, 뚜렷한 권역별 배출특성 차이를 나타내고 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 레디믹스트 콘크리트의 환경성적표지 현황 조사와 이를 통한 레디믹스트 콘크리트 규격, 생애주기, 권역별 탄소배출량 특성 분석을 목적으로 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 현재 환경성적표지 인증 제품 중 레디믹스트 콘크리트 관련 제품은 전체 인증 제품의 약 49%를 차지하였고, 건축자재 관련 생산재 제품(1,193건)의 약 60%(717건)를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 이중 레디믹스트 콘크리트 규격별로는 전체 717건 가운데 약 73%가 25-21-150, 25-24-150, 25-27-150, 25-30-150, 25-35-150 규격의 보통강도 콘크리트 사례가 많았으며, 이 가운데 467건이 1단계 환경성적표지인증, 56건이 2단계 저탄소제품 인증을 취득한 사례로 구성되었다.
- 2) 레디믹스트 콘크리트 규격별 탄소배출 특성 분석을 수행한 결과 18MPa에서 40MPa로 증가할수록 탄소배출량도 증가하는 추세를 나타내고 있다. 이는 콘크리트의 호칭강도를 구현하기 위해 탄소배출량이 높은 포틀랜드 시멘트의 사용량이 증가함에 기인한 것으로 판단된다.
- 3) 레디믹스트 콘크리트의 경우 생산재로 편성되어 전과정 단계 중 제조 전단계와 제조단계의 탄소배출량을 산정하고 있으며, 생애주기별 탄소배출 특성 분석을 수행한 결과 제조전단계의 탄소배출량이 전체 탄소배출량의 약 99% 수준으로 분석되었다. 이는 저탄소 제품 구현을 위해서 제조단계에 해당하는 사업장의 연료 전환사업 및 사업장 설비 고도화를 통한 탄소배출저감 보다는 제조전단계에 해당하는 배합설계 개선, 1차 협력사 개선 등의 이슈가 우선시되어야 한다.
- 4) 레디믹스트 콘크리트 25-24-150 규격을 대상으로 권역별 탄소배출량을 분석한 결과 수도권의 탄소배출량이 247

kg-CO_{2eq}/m³로 전라권이 속한 남부지역 대비 22kg-CO_{2eq}/m³ 이상 높은 탄소배출량을 나타냈으며, 이는 혼화재 사용에 비교적 자유로운 권역에 따라 탄소배출 차이가 발생하는 것으로 사료된다.

요약


본 연구는 레디믹스트 콘크리트의 환경성적표지 현황 조사와 이를 통한 레디믹스트 콘크리트 규격, 생애주기, 권역별 탄소배출량 특성 분석을 목적으로 한다. 이를 위해 콘크리트 산업의 탄소배출량 산정이 요구되고 있는 관련 인증제도를 분석하고, 레디믹스트 콘크리트 제품의 탄소배출량 현황분석을 위해 전과정평가 기법에 기반한 EPD 인증을 받은 제품군을 대상으로 하여 레디믹스트 콘크리트의 활성화 정도를 분석하였다. 또한 레디믹스트 콘크리트 제품의 생애주기별 탄소배출량 분석, 규격별 탄소배출량 분석, 권역별 탄소배출량 분석을 수행하여 각 특성에 따른 탄소배출량 추이를 검토하였다. 분석결과 생애주기별 탄소배출량은 제조전단계가 99% 수준을 나타냈으며, 18MPa에서 40MPa로 증가할수록 탄소배출량도 증가하는 추세를 보였다. 단, 동일 규격이라고 하더라도 수도권의 탄소배출량이 남부지역 대비 높은 탄소배출량을 나타냈다.

키워드 : 레디믹스트 콘크리트, 환경성적표지, 환경영향, 이산화탄소, 전과정 평가


Funding


This research was supported by Kumoh National Institute of Technology(No. 2019104030).

ORCID

Rak-Hyun Kim,  <http://orcid.org/0000-0002-5105-459X>

Gwang-Hyun Kim,  <http://orcid.org/0000-0002-0214-2438>

Won-Jun Park,  <http://orcid.org/0000-0001-9141-0360>

Seung-Jun Roh,  <http://orcid.org/0000-0001-7317-1829>

References

1. Favier A, Wolf C, Scrivener K, Habert G. A sustainable future for the european cement and concrete industry-technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050. Zurich (Swiss): Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ); 2018. 96 p.
2. ISO 13315-6. Environmental management for concrete and concrete structures. International Organization for Standardization; 2019.
3. EN 16757. Sustainability of construction works - Environmental product declarations - product category rules for concrete and concrete elements. Europäische Norm; 2017.
4. Scrivener KN, John VM, Gartner EM, Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. Cement and Concrete Research. 2018 Dec;114:2-26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
5. Giesekam J, Barrett J, Taylor P. Construction sector views on low carbon building materials. Building Research & Information. 2015 Oct;44(4):423-44. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1086872>

6. Kim RH, Lim MK, Roh SJ, Park WJ. Analysis of the characteristics of environmental impacts according to the cut-off criteria applicable to the streamlined life cycle assessment of apartment buildings in South Korea. *Sustainability*. 2021 Mar;13(5):2898. <https://doi.org/10.3390/su13052898>
7. Roh SJ, Kim RH, Park WJ, Ban HK. Environmental evaluation of concrete containing recycled and by-product aggregates based on life cycle assessment. *Applied Sciences*. 2020 Oct;10(21):7503. <https://doi.org/10.3390/app10217503>
8. Kim RH. The current status of green building materials based on changing of materials and resources in G-SEED. *Magazine of Recycled Construction Resource*. 2020 Dec;15(4):48-57. <https://doi.org/10.14190/MRCR.2020.15.4.048>
9. Green Building Center. G-SEED: Green standard for energy & environmental design annual report-2020. Goyang (Korea): Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology; 2020 Dec. 42 p. Report No.: KICT 2020-255
10. Green Building Center. G-SEED: Green standard for energy & environmental design certification criteria commentary report . Goyang (Korea): Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology; 2021 Oct. 455 p. Report No.: 2016-6 v1
11. Korea Environmental Industry & Technology Institute. Carbon emission assessment manual – construction materials. Seoul (Korea): Korea Environmental Industry & Technology Institute. 2016. 73 p.
12. Korea Environmental Industry & Technology Institute. The Current status and development direction of environmental product declaration. Seoul (Korea): Korea Environmental Industry & Technology Institute. 2020.
13. Korea Environmental Industry & Technology Institute, Environmental product declaration product category rules – general principles. Seoul (Korea): Korea Environmental Industry & Technology Institute. 2021. 17 p.
14. Korea Environmental Industry & Technology Institute, Environmental product declaration product category rules – ready-mixed concrete. Seoul (Korea): Korea Environmental Industry & Technology Institute. 2021. 4 p.
15. Purnell, P. The carbon footprint of reinforced concrete. *Advances in cement research*. 2013 Dec;25(6):362-8. <https://doi.org/10.1680/adcr.13.00013>
16. Anderson J, Moncaster A. Embodied carbon of concrete in buildings, Part 1: Analysis of published EPD. *Buildings and Cities*. 2020;1(1)198-217. <http://doi.org/10.5334/bc.59>
17. Wang XY, Wang YS, Lin RS, Cho HK, Min TB. Energy Optimization Design of Limestone Hybrid Concrete in Consideration of Stress Levels and Carbonation Resistance. *Buildings*. 2022 Mar;12(3):342. <https://doi.org/10.3390/buildings12030342>
18. ISO 14025. Environmental Labels and Declaration – Type III environmental declarations – Principles and procedures. International Organization for Standardization; 2006.