

고로슬래그미분말의 전과정 CO₂ 배출원단위 평가 및 데이터베이스 구축

Constructing Database for Estimating Life Cycle CO₂ emissions from Blast Furnace Slag

박정훈* 태성호** 김태형*** 이강진****
Park, Jung-Hoon Tae, Sung-Ho Kim, Tae-Hyoung Lee, Kang-Jin

Abstract

This study was conducted as a part of database construction for development of CO₂ assessment system for concrete to assess CO₂ emissions and analyze characteristics of blast furnace slag manufactured in Korea through life cycle assessment method. For this, life cycle CO₂ emissions assessment technique for construction materials was examined. The entire manufacturing process for blast furnace slag was analyzed on blast furnace slag manufacturer in Korea for application of assessment technique. Life cycle CO₂ assessment was performed on blast furnace slag after classifying assessment process into raw material production step, raw material transportation step and construction material manufacture step.

키워드 : 고로슬래그미분말, 전과정평가, CO₂ 배출량
Keywords : blast furnace slag, life cycle assessment, CO₂ emissions

1. 서론

건설 산업의 주요자재인 콘크리트의 경우 건설현장별 시공목적에 따라 다양한 콘크리트배합설계가 사용되고 있으며 이에 대한 CO₂ 배출량을 평가하기 위해서 시멘트, 골재, 혼화재료 등에 대한 세부 자재별 CO₂ 배출량 원단위가 필요하다. 하지만 국내의 경우 고로슬래그미분말, 플라이애쉬와 같은 혼화재료들에 대한 CO₂ 배출량 원단위가 구축되어 있지 않아 국외의 연구사례를 참고하는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 전과정 CO₂ 배출량 평가 및 기초데이터베이스 구축 연구의 일환으로 국내 고로슬래그미분말의 제조공정에 따른 전과정평가를 통해 고로슬래그미분말의 CO₂ 배출량을 평가하고 이를 통해 데이터베이스를 구축하여 CO₂ 배출원단위를 산출하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 국내 탄소성적표지제도의 건설재료부문 평가지침을 분석하였으며 이를 바탕으로 고로슬래그미분말의 제조공정에 따른 데이터베이스목록을 작성하여 현장데이터를 조사하였다. 이를 통해 탄소성적표지제도 프로그램을 활용하여 고로슬래그미분말의 전과정 CO₂ 평가를 수행하였다.

2. 평가대상 선정

2.1 개요

고로슬래그미분말은 고온의 용융상태인 슬래그에 물을 분사하여 급냉시킨 고로수재 슬래그를 밑에서 일정 분말도로 분쇄한 것을 지칭한다. SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO의 4성분이 95~99%정도 함유되어 있기 때문에 시멘트와 거의 유사한 화학성분을 지니고 있다. 이 성분들은 시멘트의 수화반응과 유사한 반응을 하는데 보통 포틀랜드 시멘트는 수경성반응인 반면 고로슬래그는 잠재수경성 반응형태를 지닌다. 이러한 반응의 근거로 콘크리트의 제조산업에서 혼화재료로서 사용하고 있으며 고로슬래그미분말의 치환율과 분말도를 자유로이 선택함으로써 소요품질의 콘크리트를 효과적으로 얻을 수 있다.

2.2 고로슬래그미분말 선정

본 연구에서는 한국산업표준 (KS L 5210)에서 정한 기준을 만족하는 제품을 대상으로 하여 평가를 수행하였으며 이를 위하여 충청남도 당진의 고로슬래그시멘트 생산업체 Y공장의 생산시스템과 제품을 분석하였다. 고로슬래그미분말은 제품의 화학성분과 분말도에 따른 물리적 특성에 따라 1종, 2종, 3종으로 구분되고 있으며 이를 아래의 표 1에 나타내었다.

* 한양대학교 일반대학원 건축환경공학과 석사과정
** 한양대학교 건축학부 조교수, 공학박사, 교신저자 (jnb55@hanyang.ac.kr)
*** 한양대학교 일반대학원 건축환경공학과 박사과정
**** 영진글로벌(주), 기술연구소 연구소장

표 1. 고로슬래그미분말의 종류별 특성

물리적 특성	밀도	잔분	평균입경	비표면적	수분	
BFS	2.8~2.94	1종	-	2~4	8000~10000	0.4
		2종	-	7~9	6000~8000	이하
		3종	2.0이하	12~16	4000~6000	
화학적 성분 함유율(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
	30~36	12~18	0.25~0.35	38~45	100이하	4 이하

3. 평가 방법

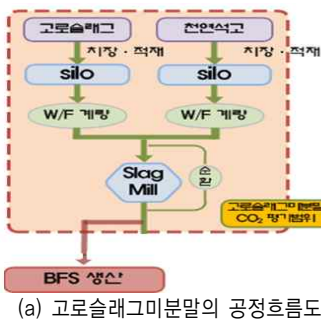
3.1 전과정평가기법

현재 환경부에서는 전과정평가기법을 이용한 탄소성적표지제도 및 COOL 프로그램을 통해 국내의 건설재료들을 포함한 다양한 산업제품들에 대한 탄소배출량의 평가 및 데이터베이스를 구축하고 있다. 본 연구에서는 이를 대상으로 하여 평가기법을 분석하고 데이터출력형식을 참고하여 고로슬래그미분말의 전과정 CO₂ 배출량 평가를 수행하였다.

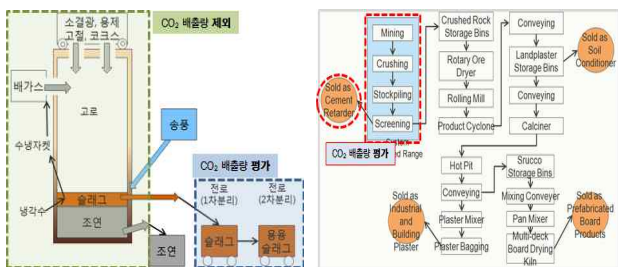
3.2 고로슬래그미분말 전과정 CO₂ 배출량 평가

3.2.1 고로슬래그미분말 공정 흐름도 분석

고로슬래그미분말의 제조공정을 제품제조전단계와 제품제조단계로 구분하여 평가범위를 설정하였다. 제품제조전단계에서는 원자재의 생산과 운송과정이 포함되며, 제품제조단계에서는 슬래그 밀, 믹서 등의 장비사용과정이 포함된다. 재료 생산단계를 살펴보면 고로슬래그와 천연석고가 주요재료로 구성되어 있다. 고로슬래그와 천연석고에 대한 CO₂ 원단위를 직접 산출하기 위해 원자재들에 대한 제조공정과 생산시스템을 분석하여 CO₂ 평가범위를 설정하였다.



(a) 고로슬래그미분말의 공정 흐름도



(b) 고로슬래그 생산공정 (c) 천연석고 생산공정
그림 2. 원자재 생산과정 CO₂ 평가 범위설정

3.2.2 세부구성요소 데이터 수집 및 평가

고로슬래그미분말의 전체 제조공정을 단계별로 구분하여 조사 항목과 관련 내용을 목록화하였으며 데이터 수집범위는 고로슬래그미분말의 제조사이클을 1년으로 하여 연간 투입되는 전체 원자재별 물량과 에너지 소모량을 조사하였다. 또한 투입물질 및 배출 물질들에 대한 데이터수집은 95% Cut-off 기법을 적용하여 이루어졌으며 고로슬래그미분말 제품의 기능단위 1kg에 대한 물량별 단위환산을 통해 데이터베이스목록을 구축하였다.

표 2. 세부구성요소 항목선정 내용

공정 단계	항목	세부 조사 내용	
제품 제조 단계	고로	고로슬래그 채집과정	채집량, 하역장비, 에너지사용량
	슬래그	고로슬래그 수송과정	수송거리, 수송차량, 유류소비량
	생산	고로슬래그 적재과정	하역장비, 전력사용량
제품 제조 단계	천연 석고	천연석고 채집과정	채집량, 하역장비, 에너지사용량
	석고	천연석고 수송과정	수송거리, 수송차량, 유류소비량
	생산	천연석고 적재과정	하역장비, 전력사용량
제품 제조 단계	고로	BFS 가공과정	자재수송장비, 슬래그밀 전력사용량
	슬래그 미분말	슬래그밀 냉각과정	냉각수, 냉매 사용량
제품 제조 단계	제조	BFS 적재과정	하역장비 에너지사용량, 폐기를 처리량

3.2.3 평가 결과

조사된 데이터를 바탕으로 COOL 프로그램을 활용하여 고로슬래그미분말에 대한 전과정 CO₂ 배출 평가를 실시하여 산출된 결과를 표 3에 나타내었다. 그 결과 고로슬래그미분말 1kg을 생산하는데 발생하는 CO₂ 배출량은 0.0377kg으로 나타났다.

표 3. 고로슬래그미분말 전과정 CO₂ 배출량 평가결과

항목	조사내용	CO ₂ 배출계수	단위	CO ₂ 배출량 [kgCO ₂ /kg]	기여도 [%]	
재료 생산 단계	고로슬래그	1,038 kg	0,00105	kgCO ₂ /kg	0,001093	2,90
	천연석고	0,0285 kg	0,07881	kgCO ₂ /kg	0,002242	5,95
재료 수송 단계	고로슬래그 (육상수송)	거리A 0,5 km	0,2490	kgCO ₂ /t	0,003198	8,48
	천연석고 (해상수송)	거리B 40 km				
	해외C 3408 km	0,00211	kgCO ₂ /t	0,000204	0,54	
제품 생산 단계	전력사용량	0,03595 kWh	0,4950	kgCO ₂ /kWh	0,017795	47,19
	공업용수	0,02304 L	0,00010	kgCO ₂ /kg	2,35E-06	0,01
	LNG사용량	0,004737 kg	2,780	kgCO ₂ /kg	0,013168	34,92
	배출물처리	0,000421 kg	0,00379	kgCO ₂ /kg	1,59E-06	0,01
계				0,037706	100	

4. 결론

- 1) 고로슬래그미분말을 대상으로 하여 제조공정에 따른 전과정 CO₂ 배출평가를 실시하였으며 고로슬래그미분말의 CO₂ 배출량은 0.0377 kgCO₂/kg으로 평가되었다.
- 2) 고로슬래그미분말의 CO₂ 배출요인을 분석한 결과 제품생산 과정에서의 전력사용량과 LNG사용량이 전체의 82%를 차지하는 것으로 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원 (11CHUD-C060439-01-000000)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김태형외 콘크리트 생산에 의한 CO₂배출량 평가 시스템 개발에 관한 연구, 한국콘크리트학회논문집, 제37권 제2호, pp.151~157, 2010