

순환골재가 혼입된 콘크리트의 환경부하(온실가스) 평가를 위한 기초연구

Environmental load impact evaluation of concrete mixed recycled aggregate



김태형 Tae-Hyoung Kim
한국건설기술연구원 건축연구본부
수석연구원
E-mail : kimtaehyoung@kict.re.kr

1. 머리말

탄소중립·녹색성장 시대를 맞이하여 국토교통부와 환경부에서는 에코효율성의 혁신을 통한 리사이클 및 업사이클 산업 육성에 주력하고 있으며, 그 중에서도 건설폐기물을 천연골재의 대체자원으로 활용하기 위해 다양한 연구가 진행되었다.

최근 ‘건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률’에서 규정하고 있는 순환골재 의무사용 공사 외에 ‘서울시 건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 조례’를 제정 시행(‘21.1)하여 서울시 및 산하기관 발주공사 중 1,000m² 이상 건축공사 등을 대상으로 골재소요량의 40% 이상을 순환골재로 사용하도록 의무화하였다.

또한, 국토교통부에서는 14개 용도의 순환골재 사용에 관한 관리 기준을 제공하고 있으며, 고품질 순환골재의 안정적 생산 및 공급을 체계적으로 유지하기 위해 「순환골재 품질인증」제도를 시행하여 약 400여개 업체(‘22.1 기준)가 인증 받았다.

이처럼 순환골재 품질인증 및 관리에 관한 규칙을 일부 개정하면서 순환골재의 의무 사용량을 확대 하는 등 건설폐기물을 경제적 가치가 높은 고부가가치 용도로 재활용하려는 노력은 계속 진행되고 있으나, 품질, 안전, 경제성, 공급 등의 예외 규정이 있어 현장 사용은 활발하지 못한 실정이다.

이에 순환골재 사용에 대한 품질기준 및 재료역학적 특징 등을 조사하였으며, 순환골재 생산방식별 온실가스 배출량을 산출하였다. 또한, 천연골재 혼입량 대비 순환골재 치환율에 따른 순환골재 혼입 콘크리트의 온실가스 배출량을 분석하였다.

2. 순환골재의 품질기준 및 특징

순환골재는 폐콘크리트를 파쇄, 선별, 입자 조정 등 물리적 또는 화학적 처리과정 등을 거쳐 법률이 정한 품질기준에 적합하게 하여 다시 건설, 토목공사 등에 사용하는 골재이며, 『건설 폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률 제2조제7호』이 규정하고 있는 품질기준에 적합해야된다.

골재는 시멘트 콘크리트의 약 70%, 아스팔트 콘크리트의 약 90% 이상의 용적비를 차지하며 콘크리트 특성을 좌우하는 필수적인 건설기초소재이다. 따라서 일반적으로 순환골재를 혼입한 콘크리트의 제조는 [표 1]과 같이 순환골재 품질기준에서 규정된 골재를 사용하도록 해야 한다. 또한, 순환골재 품질기준에 의거하여 순환골재의 적용과 사용방법 및 적용가능범위를 제한하고 있다.

기존 연구결과에 의하면 천연골재에 대한 순환골재의 치환율이 약 50% 미만일 경우에 압축강도 등의 강도 특성치에 대한 성능저하가 나타나지 않았으며, 순환골재 치환율 30% 범위에서는 내구성 및 내식성 측면에서도 문제가 발생되지 않았다. 이러한 연구결과에 따라 콘크리트용 순환골재 품질기준에서는 천연골재의 30% 범위 이내에서 순환골재로 치환하여 사용하는 것을 권장하고 있다.

3. 순환골재의 온실가스 배출 원단위 분석

순환골재 생산방식은 건식과 습식으로 크게 구분할 수 있으며 각각의 생산방식별 온실가스 배출 원단위를 도출하였다.

1) 건식생산방식

건식생산 방식은 폐콘크리트를 파쇄하여 골재 표면에 붙어 있는 모르타르를 제거한 후 발생하는 많은 양의 미세분말을 분리하는 것이 관건이다. 생산 공정에서 소요되는 파쇄횟수와 분별작업 등을 장비별로 구분하였다. 골재 생산 과정에서 각 소요장비별 소비 전력량, 생산효율, 가동시간 등의 정보를 이용하여 온실가스 배출 원단위를 도출하였다. 골재의 생산 효율을 70%라 가정하였으며, 양질의 순환골재를 생산하기 위하여 콘크리셔와 조크리셔를 각각 2번씩 사용하여 파쇄한다고 설정하였다. 그 결과 건식순환골재 1톤 생산 시 2.97 kg-CO₂eq의 온실가스가 배출되는 것으로 산출되었다.

2) 습식생산방식

습식생산 방식은 건식생산 방식에 없는 선별과정이 추가된다. 중간과정에 송풍기가 선별 장치로 구성되어 있으며 두 종류의 파쇄기가 적용된 건식 생산방식과 달리 습식 생산방식에

[표 1] 콘크리트용 순환골재의 품질

구분		순환 굵은골재	순환 잔골재
절대 건조 밀도(g/cm ³)		2.5 이상	2.3 이상
흡수율(%)		3.0 이하	4.0 이하
마모감량(%)		40 이하	-
입자모양편정실적률(%)		55 이상	53 이상
0.08mm체 통과량 시험에서 손실된 양(%)		1.0 이하	7.0 이하
알칼리 골재 반응		무해할 것	
점토덩어리량(%)		0.2 이하	1.0 이하
안정성(%)		12 이하	10 이하
이물질함유량(%)	유기이물질	1.0 이하 (용적기준)	
	무기이물질	1.0 이하 (질량기준)	

*순환골재 품질기준, 국토교통부공고 제 2021-1852호, 2021. 12

는 임팩트 크러셔가 포함되어 있다. 습식 생산시스템은 세척 설비와 침전조 및 필터프레스 등의 설비가 필요하며, 생산과정에서 발생된 슬러지 케이크를 재활용하지 못하고 매립처리해야 하는 문제가 생기기 때문에 순환모래 생산에 많은 어려움이 있는 방식이다.

그러나 건식방식 대비 양질의 골재를 생산하기 쉽고, 입도 및 입형이 좋으며, 대량생산에 유리하기 때문에 국내에서는 대부분 습식방식을 적용한다. 골재의 생산 효율을 70%가 가정하였으며, 양질의 골재를 생산하기 위하여 콘크리터를 2회, 조크리셔와 임팩트크리셔를 각각 1회씩 사용하여 파쇄한다고 설정하였다. 온실가스 배출 산출방식은 건식 생산시스템과 큰 차이가 없고, 추가 되는 공정에 사용되는 장비의 전력사용량에 근거한 온실가스 배출량을 나타냈다. 그 결과 건식순환골재 1톤을 생산 시 3.983kg-CO₂eq의 온실가스가 배출되는 것으로 산출되었다.

4. 순환골재 혼입 콘크리트의 온실가스 배출량 산출

순환골재콘크리트의 치환율에 따른 배합표를 작성하기 위하여 다음과 같이 가정하였다.

- (1) 콘크리트 배합은 레미콘 생산업체에서 일반적으로 사용되는 압축강도 24MPa, 슬럼프 150mm의 배합표를 기준으로 하였다.
- (2) 순환골재 콘크리트에 사용되는 순환골재는 굵은골재로 한정하며 골재의 치수는 25mm이하 가정한다.
- (3) 순환골재의 생산과정에서 순수 폐콘크리트만을 파괴하고, 굵은골재만을 생산한다고 가정한다.
- (4) 입도, 흡수율, 이물질 함유량 등의 사항은 순환골재 품질기준을 따른다고 가정한다.
- (5) 배합표에 사용하는 시멘트는 제 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 기준으로 한다.
- (6) 순환 굵은골재와 순환 잔골재의 밀도는 각각 2.4~2.7, 2.1~2.5으로 한다.

실제 A레미콘 업체에서 건설현장에 사용된 강도 24MPa 배합을 적용하였으며, 위에서 가정한 사항을 바탕으로 천연골재와 순환골재의 치환량을 변화시켰다. 본 배합에서는 순환골재 치환율에 관계없이 물-시멘트비를 47.46%, 단위 세골재량을 860kg, Fly-Ash를 53kg 혼입하였다.

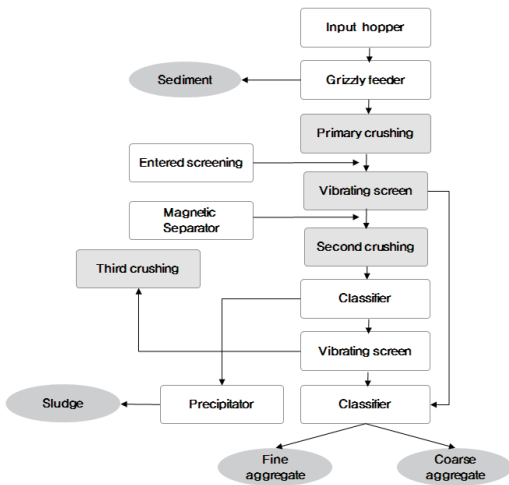


그림 1. 건식 생산공정

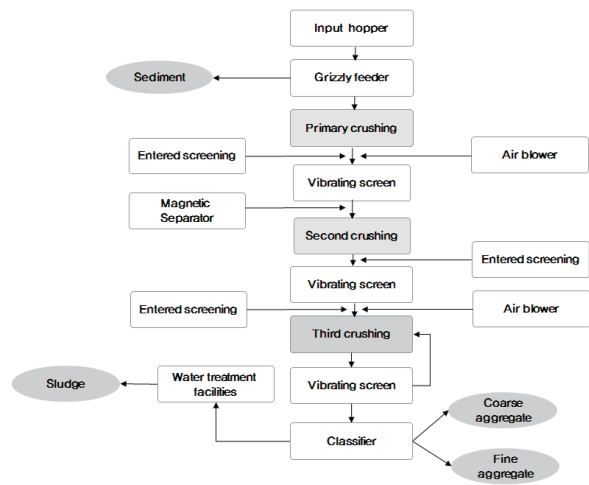


그림 2. 습식 생산공정

[표 2] 순환골재 혼입율에 따른 콘크리트 배합량

순환골재 혼입율	S/a(%)	배합량(kg/m ³)						
		천연 굵은골재	순환 굵은골재	천연 잔골재	보통 시멘트	물	Fly ash	감수제
0%	48.15	926	0	860	301	168	53	0.6
30%		648	277					
50%		324	601					
100%		0	926					

[표 3] 수송단계 온실가스 배출량 산출 근거

운송량 (m ³ /회)	연비 (km/ℓ)	연료사용량 (ℓ/ton-km)	온실가스 배출량 (kg-CO ₂ /ton-km)
9.13 m ³ /회	2.84	3.5×10 ⁻⁴	9.8×10 ⁻⁴

1) 전과정 평가 단계별 온실가스 배출량 분석

전과정 평가단계 중 원재료 생산단계 평가를 위한 자료는 보통시멘트, 물, 굵은골재, 잔골재, 혼화재료이며, 재료별 온실가스 배출 원단위는 환경부 국가 LCI DB를 적용하였다. 순환골재 혼입 콘크리트의 생산단계 온실가스 배출량은 배합재료의 생산 시 배출되는 원단위와 배합량(kg/m³)으로 산정하였다.

수송단계(원재료 운송과정)의 평가는 표준품셈을 근거로 하였으며, 15톤 덤프트럭에 페콘크리트 운반 시 필요한 트럭수를 적용하였으며, 트럭의 연비는 2.84km/ℓ를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 운반거리는 40km를 기준으로 배출되는 온실가스량을 환산하면 1.698 × 10⁻⁵ kg-CO₂/ton 으로 산출되었다.

순환골재 혼입 콘크리트 제조단계에서의 온실가스 배출량 평가는 레미콘 생산업체의 공정현황, 각 설비의 용량 데이터를 기초로 하였다. 재료저장사일로, 계량장치, 혼합 믹서 등을 결합하여 구성된 배치플랜트에서 사용한 일간 에너지 사용량과 레미콘 생산량 데이터를 이용하여 콘크리트 단위용적 생산에 사용되는 제조설비의 에너지 소비량에 대한 온실가스 배출량을 산정하였다.

2) 전과정 온실가스 배출량 평가결과

순환골재 혼입 콘크리트의 온실가스 배출량은 순환골재 치

[표 4] 콘크리트 생산공정별 제조설비

공정분류	제조설비
저장	시멘트 사이로
	혼화재 사이로
계량 및 운반	버킷 엘리베이터
	수직 운반 설비
	수평 운반 설비
	혼합재 펌프
	물 펌프
혼입	Concrete mixer콘크리트 믹서
기타	집진기
	Compressor공프레서

환율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 하지만, 전체 온실가스 배출량 중 보통시멘트가 차지하는 비중이 매우 높아서 순환골재 치환에 따른 온실가스 저감량은 미미한 것으로 나타났다. [표 5]에 의하면 순환골재 무혼입 대비 3%~최대 10%까지 온실가스 배출량이 저감되는 것으로 평가되었다.

다만, 온실가스 배출량 산출에 적용된 원단위DB(환경부 국가 LCI DB)는 2003년에 만들어진 DB이며, 탄소저감형 시멘트 및 혼화재료 등의 원단위 DB가 공식적으로 오픈되어 있지 않은 상황이다. 현재 탄소저감형 시멘트의 온실가스 배출 원단위는 환경부 DB 대비 상당히 낮은 온실가스 배출 원단위를 가지는 것으로 조사되었다. 이러한 탄소저감형 재료들의 DB

를 적용하여, 산출한다면 콘크리트 배합설계 시 순환골재 치환에 따른 온실가스 배출량은 높은 비율을 차지할 것으로 사료된다.

[표 4] 순환골재 혼입비율에 따른 콘크리트의 온실가스 배출량 [단위: kg-CO₂/m³]

혼입비율	온실가스 배출량	
	건식	습식
0%	336.8	
30%	326.7	330.2
50%	319.9	323.5
100%	303.1	306.6

5. 맺음말

‘25년부터 건설폐기물의 매립지 반입이 금지될 만큼 이미 포화상태이며, 소각을 위한 인프라도 부족한 실정이다. 또한, 분별해체공사 의무화 시행(’21.4)에 따라 공공건축물 해체공사 시 배출되는 주요 건설폐기물(폐합성수지류, 폐목재류, 폐유리류, 폐섬유류 등)에 대한 활용 및 자원화 기술이 필요하다. 폐콘크리트를 활용한 순환골재로의 자원화는 2050 탄소중립을 실현하기 위하여 건설부문에서 기여할 수 있는 핵심이라고 할 수 있다.

향후, 순환골재 사용 범위 확대를 위한 기술개발 고도화 뿐만 아니라 내구성 설계/평가 관련 기준, 지방서 개정을 연구가 다시 한번 수행되어야 할 시점이다.

담당 편집위원 : 김태형(한국건설기술연구원)

● 학회지 광고 안내

Magazine of RCR(한국건설순환자원학회지)은 계간으로 발행되어 회원을 비롯한 관련 업계, 학회, 유관기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다.

저렴한 가격과 가장 효과적인 방법으로 기사를 홍보할 수 있는 한국건설순환자원학회지 광고의 많은 이용 부탁드립니다.

- 아 래 -

1. 광고 게재면

게재면	광고 협찬금	게재면	광고 협찬금
표지 2	80만원	간지	70만원
표지 3	70만원	내지(전면)	50만원
표지 4	100만원	박스 광고	30만원

2. 할인혜택

본 학회의 특별회원사가 게재하는 광고 또는 연2회 이상 광고 게재 시 상기 광고 게재료의 10%를 할인해 드립니다.

3. 문의

한국건설순환자원학회 사무국(E-mail : rcr@rcr.or.kr, Tel. : 02-552-4728)