

# 발전소 부산물 활용 콘크리트의 환경영향 분석

## Analysis of Environmental Impacts of Concrete Using By-Products of Power Plant



노승준 Seung-Jun Roh  
금오공과대학교 건축학부 조교수  
E-mail: roh@kumoh.ac.kr

### 1. 서언

최근 전력사용량이 증가하면서 화력발전소의 산업부산물인 석탄회(Coal ash)의 발생량도 함께 증가하고 있다<sup>1)</sup>. 석탄회는 화력발전소에서 연소되는 석탄연료에 의해 발생되며, 포집되는 장소에 따라 크게 플라이애시(Fly Ash)와 바텀애시(Bottom Ash)로 구분된다. 석탄회는 국내에서만 연간 800만 톤 이상이 발생되나, 이 중 약 70% 정도만 콘크리트 혼화재료, 시멘트 원료, 성토재 등으로 재활용될 뿐, 나머지 물량은 회처리장에 매립되고 있는 실정으로 추가적인 매립지 및 처리시설 확보와 이에 따른 대기환경, 토질 및 해양오염 문제 등이 국가적인 측면에서 시급히 해결해야 하는 문제로 인식되고 있다<sup>2)</sup>.

따라서 건설산업에서는 석탄회의 재활용률을 제고하기 위해 일반적으로 콘크리트의 제조과정에서 바인더의 10~15% 수준으로 사용되는 플라이애시의 사용량을 35~50% 수준으로 대폭 상향하는 플라이애시 대량 사용 콘크리트(HVFAC, High Volume Fly Ash Concrete) 개발<sup>3)</sup>과 세립분말의 함량과 흡수율이 높아 콘크리트의 원재료로서 활용 가치가 낮았던 바텀애시의 성능을 개선하여 콘크리트의 혼화재료나 잔골재로 활용하는 기술 개발 연구를 활발하게 수행하고 있다<sup>4,5)</sup>.

본 고는 이러한 HVFA 콘크리트와 바텀애시를 혼화재료 또는 잔골재로 일부 활용하는 콘크리트의 환경영향을 전과정 평가(LCA, Life Cycle Assessment) 관점에서 정량적으로 분석하고자 한다.

### 2. 분석대상 및 방법

#### 2.1 분석대상

[표 1]은 설계기준강도 21MPa을 기준으로 본 고에서 선정한 기준콘크리트와 HVFA 콘크리트, 그리고 바텀애시를 혼화재료나 잔골재로 일부 첨가한 콘크리트의 배합을 나타낸다.

[표 1] 분석대상 콘크리트의 배합

구분	굵은골재 최대치수 (mm)	물-결합재 비[W/B] (%)	잔골재율 [S/a] (%)	단위배합중량(kg/m <sup>3</sup> )						혼화제 [adm.] (%)	
				물 [W]	시멘트 [C]	시멘트 대체재 [SCMs]		잔골재 [S]			굵은골재 [G]
						플라이애시	바텀애시	일반	바텀애시		
B0	25	53.5	50.5	175	326	0	0	884	0	883	0.7
B1(F35)				175	212	114	0	884	0	883	0.7
B2(F50)				175	163	163	0	884	0	883	0.7
B3(B25)				175	245	0	81	884	0	883	0.7
B4(BA30)				175	326	0	0	619	265	883	0.7

[표 2] 콘크리트 원재료의 환경영향 원단위

구분	환경영향범주				출처
	지구온난화 (kg-CO <sub>2eq</sub> /kg)	자원사용 (kg-Sb <sub>eq</sub> /kg)	부영양화 (kg-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> <sub>eq</sub> /kg)	산성화 (kg-SO <sub>2eq</sub> /kg)	
물	2.00×10 <sup>-4</sup>	1.13×10 <sup>-6</sup>	6.58×10 <sup>-8</sup>	5.02×10 <sup>-7</sup>	Ⓐ
시멘트	1.06×10 <sup>0</sup>	1.13×10 <sup>-3</sup>	1.86×10 <sup>-4</sup>	1.30×10 <sup>-3</sup>	Ⓐ
플라이애시	0	0	0	0	Ⓒ
바텀애시	0	0	0	0	Ⓒ
모래	2.29×10 <sup>-3</sup>	1.40×10 <sup>-5</sup>	1.14×10 <sup>-6</sup>	6.51×10 <sup>-6</sup>	Ⓓ
바텀애시골재	0	0	0	0	Ⓒ
자갈(쇄석)	7.77×10 <sup>-3</sup>	5.06×10 <sup>-5</sup>	2.52×10 <sup>-6</sup>	1.36×10 <sup>-5</sup>	Ⓓ

Ⓐ : 국가 LCI DB, Ⓓ : 건축자재 환경성정보 국가D/B, Ⓒ : 독일 ÖKOBAUDAT

HVFA 콘크리트의 경우 플라이애시의 첨가량을 바인더 기준 35%와 50%로 구분하였다. 한편, 바텀애시의 경우 이를 콘크리트에 다량 활용하였을 때 콘크리트의 유동성과 내구성을 저하시킬 수 있다는 기존 연구<sup>4,5)</sup>들의 실험내용과 결과를 참고하여 혼화재료로서 바텀애시의 첨가량은 바인더량의 25%, 골재로서의 첨가량은 잔골재량의 30%로 설정하였다.

## 2.2 분석방법

LCA 관점에서 콘크리트의 환경영향 평가는 콘크리트에 투입되는 원재료의 배합과 각 원재료에 대한 환경영향 원단위의 곱으로 수행된다. 즉, 콘크리트의 환경영향 평가를 위해서는 콘크리트의 원재료인 시멘트, 혼화재료, 잔골재, 굵은골재, 물 등의 환경영향 원단위가 필요하다. 여기서 환경영향 원단위는 기능단위의 제품이 야기하는 다양한 환경영향범주의 정량적

인 값을 의미하며, 이는 제품별로 원재료 채취단계부터 제조, 수송, 사용, 폐기단계에 이르기까지 시스템 경계 내에 투입되는 자원, 에너지 및 광물 등과 환경으로 배출되는 대기 및 수계배출물, 그리고 폐기물 등을 목록화한 전과정 인벤토리 데이터베이스(LCI DB, Life Cycle Inventory Database)를 통해 도출될 수 있다.

[표 2]는 본 고에서 콘크리트 제조에 투입되는 주요 원재료들의 kg당의 환경영향을 LCI DB를 기준으로 도출한 원단위 값을 나타낸다. 플라이애시와 바텀애시의 환경영향 원단위는 국내에서 일부 연구가 수행되었지만, 국가 LCI DB로 공표되지 않아 독일의 LCI DB인 ÖKOBAUDAT를 이용하였다<sup>6-8)</sup>. 한편, 독일의 ÖKOBAUDAT에서는 플라이애시와 바텀애시를 단순히 산업부산물로 분류하여 모든 환경영향 값을 0으로 산출하였는데, 이러한 환경영향의 산출범위와 값은 국가별로 세부 방법론의 차이가 존재할 수 있다.

[표 3] 분석대상 콘크리트의 환경영향 평가결과

구분	지구온난화 (kg-CO <sub>2eq</sub> /kg)	자원사용 (kg-Sb <sub>eq</sub> /kg)	부영양화 (kg-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> <sub>eq</sub> /kg)	산성화 (kg-SO <sub>2eq</sub> /kg)
B0	3.54 × 10 <sup>2</sup>	4.26 × 10 <sup>-1</sup>	6.39 × 10 <sup>-2</sup>	4.42 × 10 <sup>-1</sup>
B1(F35)	2.34 × 10 <sup>2</sup>	2.97 × 10 <sup>-1</sup>	4.27 × 10 <sup>-2</sup>	2.93 × 10 <sup>-1</sup>
B2(F50)	1.82 × 10 <sup>2</sup>	2.41 × 10 <sup>-1</sup>	3.36 × 10 <sup>-2</sup>	2.30 × 10 <sup>-1</sup>
B3(B25)	2.69 × 10 <sup>2</sup>	3.34 × 10 <sup>-1</sup>	4.88 × 10 <sup>-2</sup>	3.36 × 10 <sup>-1</sup>
B4(BA30)	3.53 × 10 <sup>2</sup>	4.22 × 10 <sup>-1</sup>	6.36 × 10 <sup>-2</sup>	4.40 × 10 <sup>-1</sup>

### 3. 분석결과

[표 3]과 <그림 1>은 각각 분석대상 콘크리트의 환경영향 분석결과와 기준콘크리트를 기준으로 한 평가대상 콘크리트의 환경영향 저감 경향도를 나타낸다. [표 3]과 <그림 1>에 의하면 기준콘크리트인 B0 대비 HVFA 콘크리트(B1, B2)와 바텀애시를 첨가한 콘크리트(B3, B4)의 환경영향 값이 4가지 환경영향범주(지구온난화, 자원사용, 부영양화, 산성화)에서 모두 저감되는 것으로 나타났다. 특히, B2는 기준콘크리트 대비 환경영향 값이 약 51~56% 수준으로 가장 높은 저감율을 나타냈는데, 이는 그림 2와 같이 콘크리트의 원재료 중 환경영향 값에 약 86~97%를 기여하는 시멘트의 양을 가장 많이 대체하였기 때문으로 분석되었다.

한편, 잔골재량 중 30%를 바텀애시로 치환한 B4의 환경영향 값도 기준콘크리트의 환경영향 값 보다 모두 저감되었지만, 당초 콘크리트의 환경영향에 미치는 잔골재의 기여도가 낮아 저감율은 매우 미미한 수준으로 나타났다. 하지만, 콘크리트의 제조과정에서 잔골재는 시멘트 보다 단위배합중량이 많음에 따라 바텀애시의 매립의존율 감소 등 잠재적인 환경영향 저감까지 고려한다면, 그 저감율은 더욱 높아질 수 있을 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 고는 HVFA 콘크리트와 바텀애시를 혼화재료 또는 잔골재로 일부 활용하는 콘크리트의 환경영향을 LCA 관점에서

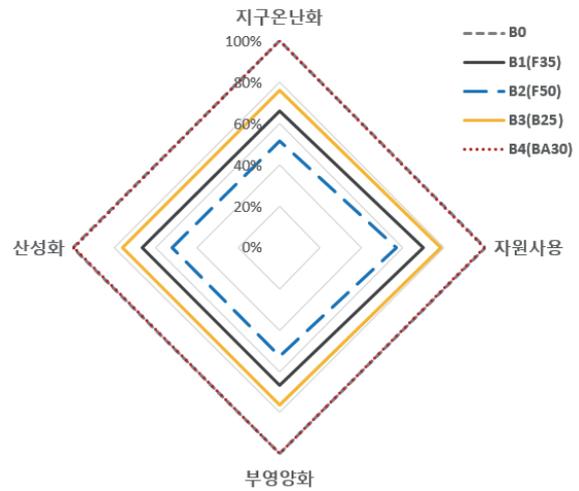


그림 1. 분석대상 콘크리트의 환경영향 저감 경향도

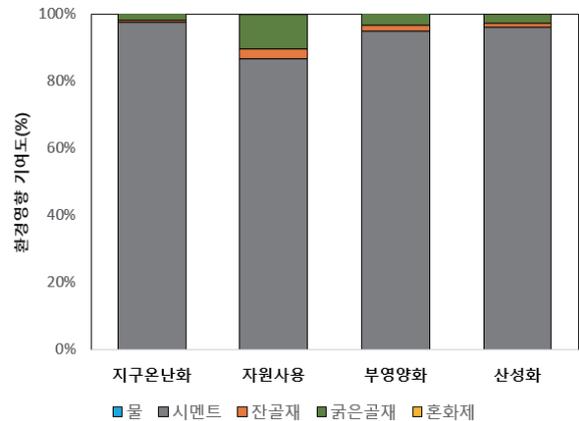


그림 2. 기준콘크리트의 원재료별 환경영향 기여도

살펴보았다.

비록 제한된 범위로 LCA를 수행하였지만 플라이애시와 바

템애시를 콘크리트에 활용하였을 때, 콘크리트 제조에 대한 6 가지 환경영향이 모두 상당 부분 저감될 수 있음을 확인하였다. 이는 발전소 부산물의 재활용율 증가에 따른 매립의존율 감소와 원재료 생산량 감소에 따른 잠재적인 환경영향 저감까지 고려한다면, 환경영향에 대한 저감 효과는 더욱 높아질 것

으로 판단된다. 따라서 발전소 부산물을 적극 활용하는 콘크리트의 기술 개발과 실용화 연구에 지속적인 많은 연구자들의 관심이 필요하며, 이들의 환경영향을 분석하기 위한 국가 LCI DB 구축 연구 등도 수행되어야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 이현기 (2019), 산업부산물(바탕애시)의 콘크리트 재료로써 활용 방안 및 연구동향, 한국건설순환자원학회지, 14(3), 39-43.
2. 맹준호, 김태윤, 조한나, 김은형 (2015), 화력발전소 회처리에 따른 환경영향 최소화 방안 연구(II), 한국환경정책 평가연구원, 연구동향보고서.
3. 유성원, 권성준 (2014), 다량 첨가된 플라이애시 콘크리트의 기초 역학적 성능 평가, 한국건설순환자원학회 논문집, 2(3), 202-208.
4. 김형남 (2017), 바탕애쉬 콘크리트의 유동성 개선을 위한 실험적 연구, 석사학위논문, 대전대학교 대학원.
5. 박승호 (2018), 콘크리트용 잔골재 및 결합재로 활용하기 위한 바탕애시의 성능개선, 박사학위논문, 대전대학교 대학원.
6. 한국환경산업기술원, 국가 LCI DB 홈페이지, <http://www.epd.or.kr/lci/lciDb.do>
7. 한국건설기술연구원, 건축자재 환경성정보 국가D/B 구축사업 최종보고서, 2008.
8. ÖKOBAUDAT, <https://www.oekobaudat.de/en.html>

담당 편집위원 : 노승준(금오공과대학교)

#### ●● 학회 특별회원사 동정 안내

Magazine of RCR(한국건설순환자원학회지)은 계간으로 발행되어 회원을 비롯한 관련 업계, 학계, 유관기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다. 특별회원사의 최신 정보 및 기술현황 등의 홍보사항을 학회지에 무료로 게재하여 널리 홍보하고자 하오니 관심 있는 특별회원사는 아래 사항을 참조하여 원고를 송부하여 주시기 바랍니다.

##### 1. 특별회원사 홍보내용

특허, 신기술, 신제품, 수상실적, 세미나 및 시연회, 사회공헌 등

##### 2. 원고 분량

A4 2~4매 내외이나 특별한 제한이 없음(그림 또는 사진포함 가능)

##### 3. 보내실 곳

한국건설순환자원학회 오경숙 과장(E-mail : [rcr@rcr.or.kr](mailto:rcr@rcr.or.kr), Tel.02-552-4728)