

## 2.3 석탄재 재활용 기준(안) 마련<sup>1)</sup>

### ① 석탄재의 구분

#### ■ 바닥재(bottom ash, 또는 바닥회, 저회)

- 미분탄 연소보일러의 저부에 낙하한 용융상태의 회들이 급냉, 고형화되어 압괴형태로 존재하는 것을 분쇄기를 사용하여 25mm 이하의 입도로 분쇄시킨 것으로 총 석탄재 발생량의 10~15%에 해당함
- 대부분 1~10mm 정도의 입경범위를 갖고 있고, 건조밀도는 약 590kg/m<sup>3</sup> 정도이며, 비산재보다 발생량이 적음

#### ■ 비산재(fly ash, 또는 비산회, 비회)

- 일반적으로 신더애시와 EP애시를 합하여 비회라고 부르며, 총석탄회 발생량의 75~90% 정도가 발생하나 EP애시만을 단순히 비산재라고도 함
  - ▷ 신더애시(Cinder ash, Coarse ash or Sand ash)
    - 미분탄 연소보일러의 연소가스가 공기에열기와 절탄기 등을 통과할 때 낙하하여 채취된 재임
    - 총 석탄재 발생량의 약 5% 정도를 차지함
    - 대부분이 0.1~10mm 정도의 입경 범위를 갖고 있음
    - 건조밀도는 약 720kg/m<sup>3</sup> 정도임
  - ▷ EP애시(Electrical Precipitator ash or Fine ash)
    - 미분탄 연소보일러의 연소 가스가 집진 장치를 통과할 때 채취된 재임
    - 총 석탄회 발생량의 70~80% 정도임
    - 입경범위는 대부분 0.1mm 이하임
- 비산재는 절탄기나 공기에열기 아래 Hopper, 전기집진기하부 Hopper에 모이는 재료 평균입경은 약 20 $\mu$ m, Blaine 3,000cm<sup>2</sup>/g 수준임
- 발생하는 재의 75~80% 정도는 입도 및 미연소탄소량을 조절하는 정제과정을 통하여 재활용되고 있으며, 주로 시멘트 원료 또는 시멘트 혼화재료로 사용됨
- 또한, 경량골재를 비롯해서 여러 토목 및 건축분야의 전자재용으로 활용되고 있고, 플라스틱이나 페인트, 제지 등에 고부가 필러(Filler)로 사용 개발 중임

1) 해당 내용은 장용철교수(충남대학교)와 고용일교수(초당대학교)의 연구논문 및 자문내용을 정리한 것임

## ② 재활용 석탄재의 문제점

### ■ 폐기물 특성에 의한 오염물질(중금속) 함유

- 석탄 바닥재에는 주로 알루미늄, 붕소, 바륨, 칼슘, 칼륨, 나트륨 등이 포함되어 있으며, 알루미늄, 붕소, 바륨 등이 주요 잠재적 오염물질이 될 수 있음
- 특히, 바륨과 붕소에 대해서는 석탄 바닥재 재활용 시 현장조건을 고려한 환경적 영향 및 위해도 측면에서 추가 분석이 수행되어함
- 『폐기물관리법시행규칙』 [별표1] ‘지정폐기물에 함유된 유해물질’에 오염물질과 그 기준치가 규정되어 있으나 환경을 고려한 기준설정이 필요함

### ■ 해수이동에 의한 염분 농도 증가

- 석탄재를 분쇄기로 분쇄 후 주로 해수를 이용하여 이송관로를 통해 회사장 (ash disposal pond)으로 이동시키므로 이 과정에서 해수가 함유됨
- 바닥재에는 주요 알루미늄, 칼슘, 철, 마그네슘, 나트륨, 칼륨 등이 포함되어 있는데, 해수 이동 과정으로 인해 회사장 석탄재에는 주로 해수 성분인 나트륨, 칼륨, 칼슘, 마그네슘이 높은 농도로 검출되며, 염분농도 역시 비교적 높게 나타남
- 따라서 염분이 포함된 석탄재를 특히 농지용 간척지에 활용할 경우 염분으로 인한 토양오염 등이 우려되므로 이에 대한 방안이 필요함

### ■ 혼입물에 의한 불안정성

- 석탄재의 포집과정에서 비산재의 완전한 포집이 어려워 세립분 및 바닥재가 혼합되는 경우 재활용 시 강도나 배수성에 문제가 발생할 수 있음
- 즉, 세립분을 충분히 제거하지 않을 경우 시공한 수평배수층 상에서 이동수단의 주행성이 확보되지 않을 수 있음
- 또한, 연약지반으로부터 수평배수층을 통해 지하수가 장기적으로 양호한 배수성을 유지하기 어려울 수 있음
- 따라서 석탄재를 재활용 할 때는 안정성 확보를 위해 그 목적에 따라 바닥재의 혼입률에 대한 적정 기준이 필요함

### ③ 석탄재 재활용을 위한 기준

#### ■ 오염물질(중금속) 농도 측정 기준 강화

- 『폐기물관리법시행규칙』 [별표1] '지정폐기물에 함유된 유해물질'에는 시안, 6가크롬, 구리, 카드뮴, 납, 비소, 수은 등 7가지 물질을 오염물질로 규정하고 이에 대해 기준치를 제시하고 있음
- 그러나 환경을 고려한 보다 세부적인 안전 기준 재설정이 필요하며, 이에 7가지 오염물질 이외에 수소이온농도, 유기물질, 유기인, 석유계 총탄화수소, 폴리클로리네이티드비페닐, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌 등 7가지에 대한 기준이 제시된 바 있음(고용일, 2012)
- 또한, 법규의 7가지 물질의 기준치에 비해 더 소량의 기준치를 제시하고 있는데, 환경을 고려하기 위해서는 이와 같이 엄격한 기준이 적용되어야 할 것으로 판단됨

[표 13-1] 법규의 지정폐기물에 함유된 유해물질 및 안전 기준

(단위 : mg/ℓ)

물질	시안(CN)	6가크롬(Cr+6)	구리(Cu)	카드뮴(Cd)	납(Pb)	비소(As)	수은(Hg)
기준	1.0	1.5	3.0	0.3	3.0	1.5	0.005

출처 : 법제처, 『폐기물관리법시행규칙』 [별표1] '지정폐기물에 함유된 유해물질'

[표 13-2] 회사장 혼합석탄재의 환경적 안전 기준

물질	수소이온 농도 (pH)	유기 물질	유기인 (Org.P) (mg/ℓ)	시안 (CN) (mg/ℓ)	6가 크롬 (Cr+6) (mg/ℓ)	구리 (Cu) (mg/ℓ)	카드뮴 (Cd) (mg/ℓ)	납 (Pb) (mg/ℓ)	비소 (As) (mg/ℓ)	수은 (Hg) (mg/ℓ)	석유계 총탄화 수소 (TPH)	폴리클 로리네 이티드 비페닐 (PCB) (mg/ℓ)	트리 클로로 에틸렌 (TCE) (mg/ℓ)	테트라 클로로 에틸렌 (TeCE) (mg/ℓ)
기준	7.0~10.0	3.0%	1.0	0.20	0.10	1.0	0.10	1.0	0.50	0.003	5.0%	50.0	0.30	0.10

출처 : 고용일, (2012), 건설재료로 재활용하는 회사장 혼합석탄재의 환경적 검토 방법

#### ■ 해수 이동 후 석탄재 염분 최소 2회 이상 세척(전처리 과정 의무화)

- 회사장에서 전처리과정(기계적 세척 및 선별 등)을 거칠 경우 바닥재의 염분 농도는 세척으로 인해 매우 낮게 검출됨
- 기타 성분으로는 바륨, 니켈, 크롬, 구리, 아연 등이 검출되었으나 바륨과 붕소를 제외하고는 농도가 비교적 낮음

- 따라서 농지용 간척지의 바닥매움재로 석탄재를 활용할 경우 기계적 전처리(세척 및 선별 등)를 의무화 한다면 염분세척 및 미연탄소분이 제거되어 더욱 안전한 재활용이 가능할 것으로 판단됨
- 또한, 바닥재 잔골재 및 굵은 골재의 염화물 함유량 기준을 만족하기 위해서는 최소 2회 이상 세척하여 사용하는 것이 바람직함
- 한편, 회사장은 대부분 해안가에 위치하고 있으므로 염분을 세척한 세척수 처리를 위한 별도의 시설설치는 경제성이 낮다고 판단되며, 현재 회사장에 설치되어 있는 오수처리시설을 이용하는 것으로 충분하다고 판단됨

## ■ 세립분 및 바닥재의 함유율 조절 기준 적용

- 혼합석탄재(비산재 중 전기 집진기에 의해 포집되지 못한 나머지와 바닥재가 혼합된 석탄재)를 강도용 제품 및 배수용 제품 등으로 사용할 경우
  - ▷ 회사장 매립석탄재에서 세립토 크기 입자의 함유 백분율이 작을수록 압축강도는 커진다는 연구결과가 있음
  - ▷ 따라서 혼합석탄재를 재활용 할 때, 그 목적에 따라 체 눈금 크기 조절로 세립토 크기 입자를 걸러내어 세립토 크기 입자의 함유 백분율을 조절할 필요가 있음
  - ▷ 즉, 강도용 제품 및 배수용 제품 등으로 회사장 혼합석탄재 전체물량을 효율적으로 활용하기 위해서는 #40체로 선별하는 것이 적정함
  - ▷ 또한, 순수 모래와 #40체를 통과한 회사장 혼합석탄재의 혼합비율이 2 : 8 이상으로 순수 모래가 함유되게 사용함으로써 부족한 압축강도를 증대시킬 수 있음
- 바닥재 골재를 사용한 포러스콘크리트를 식생용 소재로 사용할 경우
  - ▷ 바닥재 굵은 골재의 혼입률이 증가함에 따라 식물(호밀풀)의 성장은 다소 증대되는 것으로 나타났으며, 역학적 특성 및 식생능력을 고려하여 볼 때, 바닥재 굵은골재의 적정 혼입률은 50% 내외로 판단됨
- 바닥재 골재를 사용한 포러스콘크리트를 웅벽용 소재로 사용할 경우
  - ▷ 바닥재 골재를 혼입할 경우 포러스콘크리트의 소음저감 효과가 다소 증대되는 것을 확인하여 웅벽용 소재의 골재로서 사용 가능성을 확인함
  - ▷ 강도를 중시할 경우에는 목표공극률을 10%, 바닥재 잔골재 및 굵은골재를 각각 10%, 50% 내외하는 것이 적절함
  - ▷ 소음절감 효과를 중시할 경우에는 목표공극률을 20%, 바닥재 잔골재 및 굵은골재를 각각 5%, 50% 내외를 혼입하는 것이 바람직한 것으로 판단됨