

석탄회(화력발전소 부산물)를 활용한 건설기술 사례



도 종 남
한국도로공사
도로교통연구원
건설환경연구실
선임연구원
(donamtech@ex.co.kr)



이 승 준
한국도로공사
도로교통연구원
건설환경연구실 연구원



박 영 호
한국도로공사
도로교통연구원
건설환경연구실 실장



천 병 식
한양대학교 공과대학
건설환경공학과
명예교수

1. 서론

정부는 2008년 주요 정책으로 저탄소 녹색성장을 제시하였고, 에너지, 환경관련 기술과 산업 등에서 미래 유망품목과 신기술을 개발하기 위해 총력을 기울이고 있다. 그러나 에너지 관련 부문에서는 현 전력시스템을 획기적으로 대체하여 본격적으로 상용화되기까지 많은 시간이 필요하기 때문에 당분간 국내 전력의 대부분은 화력발전과 원자력발전에 의존해야 하는 실정이다(천병식 등, 1990). 특히 국내 전력의 65%정도를 차지하고 있는 화력발전의 경우 발전소에서 부산되고 있는 석탄회는 약 830만톤이며, 2014년 석탄회 예상발생량은 약 920만톤으로 추정되어 석탄회 매립량은 증가될 것으로 전망이다. 일부 화력발전소에서는 석탄회 매립장 용량이 한계에 부딪혀 최악의 경우 전력생산을 중단할 수 밖에 없는 위기에 처할 수도 있는

상황에 국면해 있다.

화력발전소 부산물 중 가장 큰 부피를 차지하는 저회를 건설재료로서 적극적으로 활용하는 기술개발이 시급한 실정이다(산업자원부, 2000 ; 천병식, 2010 ; 도종남, 2012).

따라서, 본 기술기사에서는 화력발전소 부산물인 석탄회 중 저회가 활용된 개발기술 및 일부 선진국에서의 개발기술 실용화 사례를 소개하고 향후 우리 지반공학분야에서 공사비 절감 실현이 가능한 기술을 각 소분야별로 제안하고자 한다.

2. 화력발전소 부산물인 석탄회란?

석탄회는 석탄화력발전소에서 미분탄 연소 후 부산물로 발생하는 회(재)를 의미하며, 석탄회의 발생위치

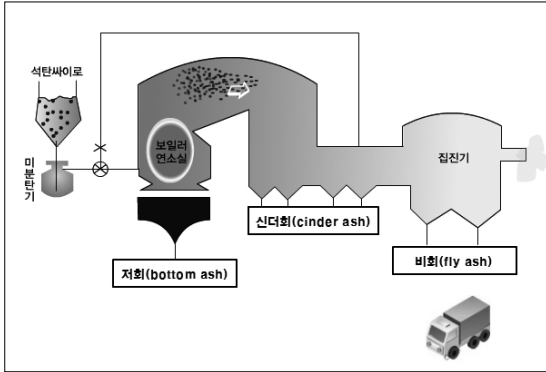


그림 1. 석탄회의 발생과정

표 1. 석탄회의 재활용 용도

석탄회의 종류	재활용 용도	비고
비회	<ul style="list-style-type: none"> · 시멘트 2차제품 원료 및 콘크리트/레미콘 혼화재료 · 성토/복토 재료 · 시멘트 크링거 원료 	
저회	<ul style="list-style-type: none"> · 경량성 골재 · 연약지반 개량(저회다짐말뚝 공법) · 구조물 뒤채움재 · 도로 기층재 · 도로 미끄럼 방지 재료(재설재료) · 성토/복토 · 벽돌의 원료 	

에 따라 크게는 비회(fly ash), 신더회(cinder ash), 저회(bottom ash)로 구분 할 수 있다(그림 1 참조).

비회는 석탄화력발전소에서 석탄 연소 후 발생하는 발전소 부산물로 집진기에서 포집되는 미분말 형태이며 물리·화학적 특성상 알루미늄 실리카 계열의 구형 입자 형태로 포졸란성을 지니고 있어 시멘트 대체재로 많이 쓰여지고 있고, 전체 석탄회 발생량 중 약 75~85%를 차지한다. 신더회는 절단기나 공기예열기 아래의 호퍼(hopper)에 모이는 회이며, 입경분은 0.3~1.0mm 정도로 전체 석탄회 발생량 중 약 5%를 차지한다. 저회는 석탄이 화력발전소 보일러 내에서 연

소될 때 보일러 하부로 낙하되는 입자의 입경이 큰 회 성분. 전체 석탄회 발생량 중 약 10%를 차지한다.

화력발전소에서 발생하는 석탄회 중 가장 많은 양을 차지하는 비회와 저회의 재활용 가능 용도를 정리하면 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

비회는 정제하여 사용하면 한국 산업규격 KS L 5405에 적합하며, 콘크리트 및 레미콘 혼화재료로 발생 비회의 90% 이상 재활용이 가능하다. 반면, 저회는 90%이상 회처리장에 매립되고 있는 실정이다. 현재까지 수많은 연구결과 저회가 다양한 분야에 활용될 수 있음이 시험적으로 확인되었지만 석탄회 재료의 건설재료 법제화, 대규모 적용 현장 부재 등의 문제로 실용화되지는 못하고 있다.

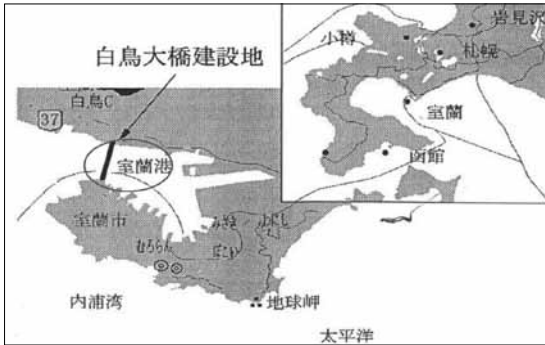
3. 화력발전소 부산물인 석탄회를 활용한 건설기술 실용화 사례(국외)

3.1 인공섬 구축 : 석탄회 해수매립 활용 (시미즈건설)

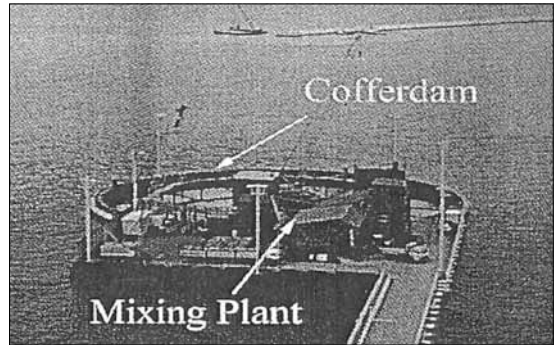
- 일본 실난(室蘭)시에 건설중인 백조(白鳥)대교의 교각 설치를 위한 인공섬(깊이 17m, 직경 67m의 원통형으로 5만m³ 규모) 구축에 석탄회 사용(그림 2 참조)
- 배합비(비회 : 화산재 : 시멘트 : 물 = 30 : 30 : 5 : 35)
- 기술 제시 : 국내 실정에 맞게 화산재 대신 저회를 활용한 기술개발

3.2 도로성토 : 중국 상하이 및 베이징 고속도로에 성토재로서 석탄회 활용

- 1985~1988년, 중국 상하이에서 모래 대체재료로서 비회를 고속도로 성토재료 사용(총 23km 구간, 8.75m의 높이에 Fly Ash로 성토).



(a) 위치



(b) 시공 전경

그림 2. 인공섬 구축 위치 및 시공 전경(백조대교 교각설치 현장)

표 2. 적용현장 및 경제적 효과

구분	내용
적용 현장	<ul style="list-style-type: none"> • 4개의 국가 고속도로 사업에 활용 - Shanghai-Nanjing 고속도로, Beijing-Shenzhen 고속도로, Beijing-Hepei 고속도로, Shanghai-Hangzhou 고속도로
경제적 효과	<ul style="list-style-type: none"> • 성토재료 구매에 들어가는 비용 절감 - Shanghai-Nanjing 고속도로, Beijing-Shenzhen 고속도로 성토재료로 170,000톤의 비회를 사용.

- 1992년 이후로, 상하이 항구 면적 260,000m²의 석탄 Stockyard 기초 프로젝트에 Fly Ash 2,000,000m³을 사용
- 회처리장에 저장되어 있는 비회를 100% 활용함.
- 고속도로 성토재료로 170,000톤 구매비용 절감
- 기술 제시 : 성토재료로 저회를 활용하는 방안

3.3 교대 뒤채움재 : CLSM재료 활용, 미국 펜실베이니아주

- 1992년 1월 미국 펜실베이니아주 Armstrong의 State Route 1002에 위치한 Mahoning Creek Bridge의 북측 교대 뒤채움재로 석탄회를 활용한 CLSM(Controlled Low Strength material) 재료를 활용(그림 3 참조)
- 교량의 북측교대는 비회 95%(미국 펜실베이니아 화력발전소에서 생산) +시멘트 5%로 뒤채움을 실시

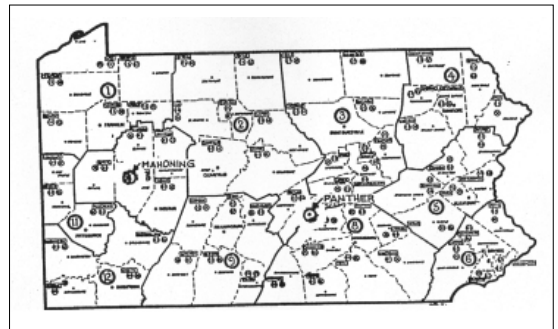
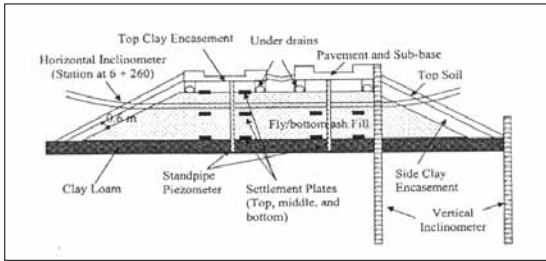


그림 3. 현장 위치도

- 하고, 남측교대는 모래 95%+시멘트 5%로 뒤채움을 실시하여 재령 28일의 일축압축강도를 측정(비회를 활용한 CLSM 뒤채움 구간의 강도가 약 1.8배 크게 발현, 설계강도 100psi 상회)
- 기술 제시 : 저회와 친환경 고화재를 활용한 CLSM 기술 개발(현장의 구조물 뒤채움 재료의 다짐불량으로 인한 2차 피해발생 억제)



(a) 제방의 단면도



(b) 비회와 저회 혼합재료의 다짐 전경

그림 4. 제방의 단면 및 다짐 전경



(a) 저회 운반



(b) 지중 케이블 설치 후 저회 채움

그림 5. 저회의 공극채움재료 활용

3.4 제방건설 : 비회와 저회 혼합재를 사용한 제방건설

- 미국 인디애나주 Terre Haute지역 State Road 641에 비회 및 저회의 혼합재를 사용한 제방 건설 적용(그림 4 참조).
- 배합비(비회 : 저회 = 60 : 40)
- 기술 제시 : 제방공사시 비회와 저회 및 친환경고 화재를 섞어 시공하는 방안

3.5 공극채움재 : 관거 매설시 저회만으로 공극 채움재 활용

- 미국 마이애미 지방에서 저회를 지중관 매설시 모

래 대체재료로서 공극 채움재로 사용(그림 5 참조).

- 배합비(저회 100%)
- 기술 제시 : 각 구조물 뒤채움시 저회를 뒤채움재 로 활용

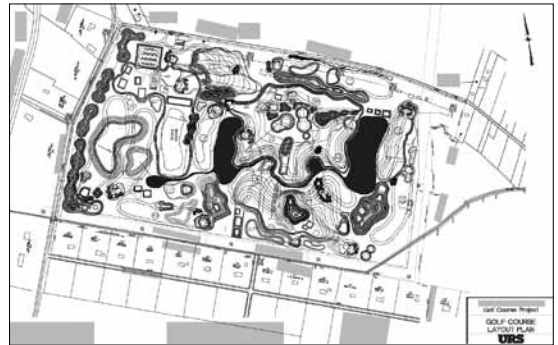
3.6 골프장 부지 건설 : 저회를 활용한 골프장 부지 건설, 주변 침출수 환경영향성 평가

- 2002년 4월에 미국 북동부 지역에서 석탄회를 이용하여 216acres의 18홀 골프장 부지를 건설하고 골프장부지 내에서 흘러나오는 수질의 상태를 측정하여 환경적 적용성을 검토함(그림 6 참조)
- 미국 북서부 화력발전소에서 생산되는 석탄회를

석탄회(화력발전소 부산물)를 활용한 건설기술 사례



(a) 적용 현장 지형



(b) 부지 상세도

그림 6. 골프장 부지 개발 재료로 석탄회(저회) 활용

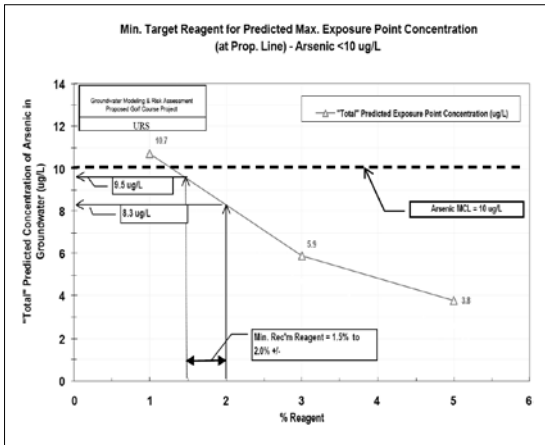


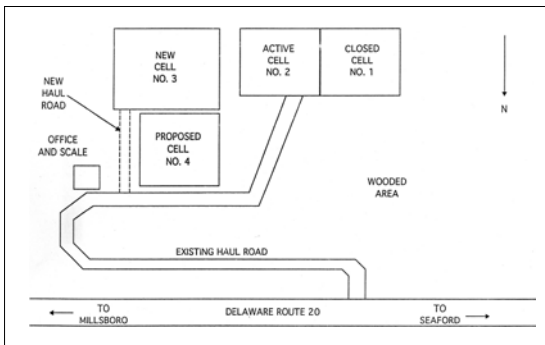
그림 7. 골프장 주변 부지의 침출수 화학성분 분석

골프장 부지 재료로 활용(1,500,000톤의 석탄회 재활용 성공)

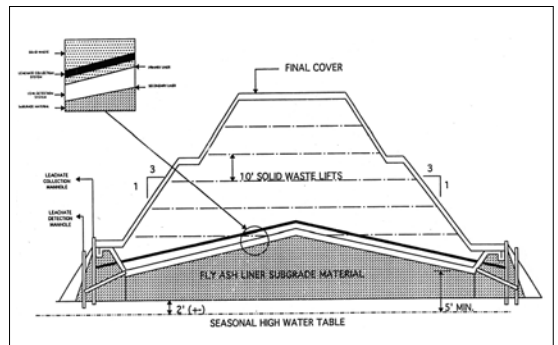
- 석탄회로 조성된 골프장 지하수의 중금속 함유량 분석 결과 모든 중금속 함량이 먹는물 기준치 이하로 나타남(그림 7 참조)
- 배합비 : 저회 100%
- 기술 제시 : 저회의 친환경성을 입증한 뒤 각 구조물 부지 공사에 활용

3.7 노반재 : 성토시 노반재로 비회를 사용

- Southern Delaware의 Hardscrabble landfill



(a) Southern Delaware의 Sussex County 매립지 시설 계획



(b) 단면도

그림 8. 석탄회 단독 활용사업 시설계획 및 단면도

프로젝트(미국 서부지역에서 가장 큰 석탄회 단독 활용 사업)에서 1,000,000톤의 F등급의 비회를 노반 채움재로서 사용(그림 8 참조)

- Indian River 발전소, DuPont Seaford 시설에 저장되어 있는 비회를 100% 활용함
- 모래를 사용한 기존 사업보다 최소 \$1,500,000의 비용 절감
- 배합비 : 비회 100%
- 기술 제시 : 회처리장에 매립된 저회와 소량의 고화재를 배합하여 노반재로 활용

이 외에도 기개발된 석탄회를 활용한 건설기술에는 저회 다짐말뚝공법(특허 제 10-0813104호), 저회를 활용한 반응성 복합투수벽체(특허 제 10-0872463호), 석탄회를 활용한 CLSM재료(특허 제 10-1117065호) 등이 있다.

전력생산이 중단될 위기이며 저회를 재활용 하고자 할 경우 각 발전사들은 톤당 일정 금액을 지원하고 있다.

- (6) "One man's trash is another man's treasure". 현재 회처리장에 매립되고 있는 석탄회는 쓸모가 없지만, 이를 활용할 수 있는 건설기술을 개발하여 실용화 시키면 상당한 부가가치 생산이 가능하다.
- (7) 각종 구조물의 기반 역할을 하는 우리 지반공학 분야에서 석탄회를 활용한 기술을 연약지반 개량, 성토, 뒤채움재, 슛크리트 재료 등에 적용 한다면 상당한 경제적 효과와 함께 국내 석탄회의 건설재료 실용화를 앞당기는 역할을 할 것이다.

4. 시사점 및 제안

- (1) 석탄회는 2009년 8월 21일 개정, 고시된 “철강 슬래그 및 석탄재배출사업자의 재활용지침” 제 4 조 재활용방법에 석탄재는 유·무연탄재 및 비회, 저회를 구분하여 사용하도록 되어있다.
- (2) 여기서 비회는 발생량의 90% 이상이 재활용되어 산업현장에 쓰여지고 있으나 저회는 대부분 회처리장에 매립되고 있는 상황이다.
- (3) 이미 선진국에서는 석탄회를 건설재료로 활발히 사용중이며, 미국석탄회협회가 주축이 되어 World of Coal Ash Conference(WOCA)가 매년 개최되고 있으며 2013년에는 Kentucky주 Lexington에서 개최되었다.
- (4) 국내에서 석탄회를 건설현장에 사용하기 위해서는 현장 성토재료와 5:5 또는 4:6으로 혼합하여 사용하도록 지침에 명시되어 있다.
- (5) 한국전력공사 산하 각 발전사들은 화력발전소의 회처리장 부지 부족으로 일부 발전소의 경우는

참 고 문 헌

1. 도종남(2012), 저회혼합다짐말뚝의 압축특성, 한양대학교 대학원 박사학위논문, pp.2~6.
2. 산업자원부(2000), 석탄회 자원의 최적활용기술 개발연구 : 지반개량재로서 활용기술을 중심으로, pp. 3~4.
3. 천병식, 고용일, 오민열, 권형석(1990), 산업폐기물로 발생하는 석탄회의 토질역학적 특성에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, Vol. 10, No. 1, pp. 115~123.
4. 천병식(2010), 석탄회를 활용한 경량 유동성채움재(Floable Fills) 제조공정 개발, 한양대학교, pp. 36~83.
5. 천병식, 도종남(2008), 저회 다짐말뚝공법, 특허 제 10-0813104호
6. 천병식, 도종남,(2008), 반응성 복합투수벽체, 특허 제 10-0872463호
7. 천병식 외 8명(2012), 경량 유동성 채움재 및 이를 이용한 공유수면 매립방법, 특허 제 10-1117065호