

국내 바텀애시의 발생 및 재활용 기술 현황

Present Status and Recycling Technology for Bottom Ash in Korea



박선규*
Sun-Gyu Park



김진만**
Jin-Man Kim

1. 서 언

석탄 화력발전소에서 석탄을 미분기로 분쇄(200mesh 70~80% 통과)하여 뜨거운 공기와 함께 노내로 주입하면 1,500±200°C 온도 범위에서 부유상태로 순간적으로 연소하게 된다. 이때 연소 후 남은 물질을 석탄회(coal ash)라고 하며, 무연탄(anthracite)의 경우는 26~50%, 유연탄(bituminous coal)에서는 8~15% 정도가 발생한다. 이 전력산업의 부산물인 석탄회는 연소 후 포집되는 장소에 따라 플라이 애시(fly ash), 바텀애시(bottom ash) 및 신더애시(cinder ash)의 세가지로 구분되는데, 바텀애시는 노벽, 과열기, 재열기 등에 부착되어 있다가 자중에 의해 보일러 하부의 호퍼에 떨어져 모인 것으로 호퍼내에서 수냉된 후, 호퍼 하부에 설치된 분쇄기에 의해 입경 1~2.5mm 범위로 파쇄되어 회처리장으로 이송된다¹⁾. 바텀애시는 전체 석탄회 발생량의 약 10~20% 정도를 점유하고 있어 플라이 애시 발생량의 1/4 정도이나, 플라이애시에 비하여 재활용이 어려우며, 재활용에 대한 연구도 미진한 상태로 대부분이 화력발전소 근처의 매립장에 폐기되고 있어 재활용이

시급히 요구되고 있는 실정이다.

또한 최근에는 일본의 대지진에 의한 원자력 발전소 사고 이후, 원자력 발전소에 대한 안전성 인식이 나빠지면서 화력발전소에 대한 관심이 더욱 집중되고 있어 친환경 에너지의 획기적인 발전이 없는 한 당분간 화력발전소의 건설을 증가할 것으로 판단된다. 이에 본 고에서는 화력발전소의 석탄회 배출 공정 및 배출 현황을 정리하고, 각국의 재활용 추진 현황을 살펴보고자 한다.

2. 바텀애시의 발생공정

일반적인 화력발전소에 있어서 발생하는 석탄회의 발생 공정 및 종류를 그림 1에 나타내었다. 미분탄의 연소에 의해 발생하는 석탄회는 연소배기 가스 중에서 먼저 보일러의 바닥에 낙하하여, 물에 의해 냉각된 덩어리 모양의 재(바텀애시, bottom ash)가 발생한다. 다음으로 절탄기(economizer)와 공기에열기(air heater)의 열회수 부분에 낙하해 신더애시가 발생하며, 그 후 대부분의 플라이애시는 최후로 전기 집진기에 의해 포집된다. 신더애시와 플라이애시는 채집공정 중에 혼합된 형태로 취급되고 있는데, 혼합된 후의 재가 일반적으로 플라이애시 원분으로 불리고 있다. 바텀애시의 발생공정에 따른 석탄회의 종류 및 성질은 아래와 같다.

① 플라이애시(Fly ash) : 석탄 화력발전소에서 석탄 연소 후 발생하는 발전소 부산물로 집진기에서 포집

* 목원대학교 공과대학 건축학부 교수

Mokwon University

E-mail : psg@mokwon.ac.kr

** 공주대학교 공과대학 건축학부 교수

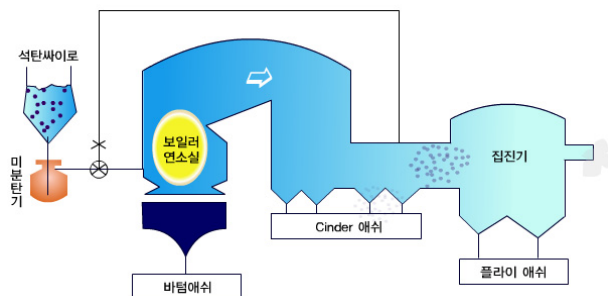
Kongju National University

E-mail : jmkim@kongju.ac.kr

되는 미분말 형태로서 그 화학적/물리적 특성상 알루미노 실리카 계열의 구형 입자 형태로 포졸란성(Pozzolan)을 지니고 있을 뿐만 아니라 여러 측면에서 시멘트 대체재로 우수한 특성을 지니고 있음. 전체 석탄회 발생량 중 약 75~80%를 차지한다.

- ② 바텀애시(Bottom ash) : 바텀 애시는 석탄이 화력발전소 보일러 내에서 연소될 때 피상 또는 입지의 입경이 큰 회 성분을 보일러의 하부로 낙하되는데 이를 바텀애시라고 하며, 전체 석탄회 발생량 중 약 10~20% 정도를 차지한다.
- ③ 신더애시(Cinder ash) : 절단기나 공기에열기 아래에 있는 Hopper에 모이는 것을 말하며 입경분 0.3~1.0mm 정도로 석탄회의 약 5%를 차지한다.
- ④ 세노스피어(Cenosphere) : FLY-ASH 중 내부가 CO₂나 N₂ 가스로 채워져 수면에 부유하는 물체로 무게는 가볍고 발생량은 FLY-ASH 전 중량의 약 2% 정도 발생되고 입경은 20~30 μm 정도로서 경량성, 절연성, 내화학적, 보존성 등이 우수한 것으로 보고되고 있다.

바텀애쉬의 매립처리는 담수식과 건식으로 구분할 수 있는데 일반적으로 노 내로부터 떨어지는 슬래그(slag) 및 재(ash)는 바텀애쉬 저장소에 일시적으로 저장되었다가 ATT(ash transfer tank)로 이송되어 다시 슬러리 펌프(slurry pump)를 통하여 최종 처리장소인 회처리장에 보내 매립한다. 과거 영월 화력에서는 강물인 담수를 이용하여 회처리장에서 바텀애쉬를 일정기간 저장하여 탈수시킨 다음 덤프트럭을 이용하여 건식 매립하는 혼합방식을 이용하였다²⁾. 한편 바텀애쉬의 재활용을 위한 처리는 용도에 따라 처리방식이 매우 상이하다. 골재 대체분야가 일반적인 재활용 분야에서는 염분/입도 분리 공정 및 일반골재 선별에 사용하는 시설 등의 추가 처리공정들이 이용된다.



[그림 3] 석탄회의 발생 공정 및 종류

3. 바텀애시의 발생 및 전망

1970년대 오일과동 이후 우리나라는 석유중심의 에너지 수급 구조로부터 에너지 다변화 정책으로 전환이 되었는데, 그 일환으로 매장량이 풍부하고 공급이 안정적인 저렴한 가격의 유연탄을 발전연료로 사용하기 위해 유연탄 발전소인 삼천포, 보령화력을 건설하였고, 이후 그림 2에 나타난 바와 같이 하동, 당진, 태안, 영흥화력 등 대용량 유연탄 화력발전소를 운영하고 있다. 한편 국내 석탄개발 정책에 힘입어 1960년대 중반부터 건설되기 시작한 무연탄 화력발전소는 현재 3개 발전소 총 6기로 점차 감소 추세에 있다. 석탄 화력발전소는 2009년도 우리나라 총 전력발전량의 약 47.5%를 담당하고 있다.

2009년도 사용된 석탄으로부터 발생한 석탄회는 유연탄이 700만 톤, 무연탄이 135만 톤으로서 합계 835만 톤이며 이는 2005년도에 비해 약 1.5배 증가한 양이다. 향후 한국 전력의 장기 전력수급 계획에 따라 신규 석탄화력 후속기들이 건설되고 있으며 이에 따른 2012년도와 2015년도의 전체 석탄회 발생 예상량은 각각 843만 톤과 936만 톤으로서 지속적인 증가가 예상되고 있다²⁾. 이중 앞에서 설명한 바와 같이 바텀애시는 전체 석탄회 발생량의 최대 20%를 차지하고 있으므로, 그 발생량은 2012년도 168만 톤, 2015년도 187만 톤으로 예상되어 진다.



[그림 2] 국내 석탄 화력발전소 위치

4. 바텀애시의 재활용 현황과 전망³⁾

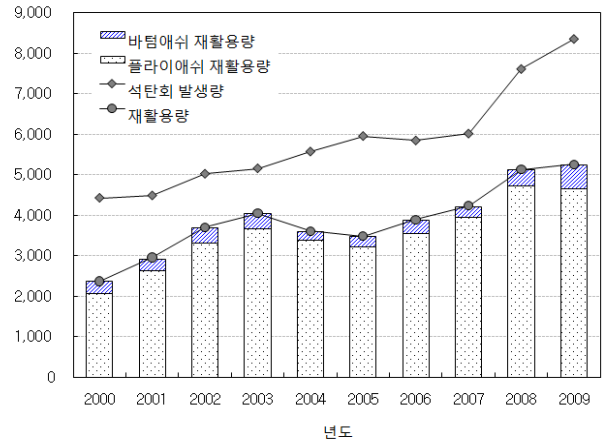
석탄회의 재활용은 경제적 효과 이외에도 환경보존, 에너지절감 및 온실가스 방출저감 등의 효과를 기대할 수 있어 지속가능한 건설기술의 핵심요소 중의 하나이다. 선진국에서는 40~50년 전부터 토목과 건축분야에 석탄회 재활용을 적극 추진하였으며 표 1에 나타난 바와 같이 다양한 정책적 지원이 이루어지고 있다. 이에 따라 유럽연합에서는 석탄회 재활용률이 86%에 이르며, 일본은 81%이다. 우리나라도 국가자원의 유효이용을 위해 ‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법’을 개정하는 등 적극적으로 산업 부산물의 재활용을 독려하고 있다.^{4,5)} 국내의 본격적인 석탄회 재활용은 1990년대 후반부터 시작되어 약 10여년에 불과하지만 다양한 정책적 지원과 투자에 힘입어 2000년도 이후의 재활용률은 그림 6.2.4에 나타난 바와 같이 꾸준히 증가하고 있다.

〈표 1〉 국가별 석탄회의 재활용 추진 현황

국가	재활용 추진 현황
영국	<ul style="list-style-type: none"> · 중앙 발전국에서 석탄회를 관리하며, 중앙정부 건설연구소에서 석탄회 관련 기술지도를 실시함 · 유효 이용 기업 및 공장이 활성화됨
서독	<ul style="list-style-type: none"> · 발전기술 협회에서 기초 기술 연구들을 수행함 · 발전소 및 민간단체에서 응용기술을 개발함
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> · 정부, 전력청, 전력공사 및 석탄공사 중앙 연구소가 기술을 지도함 · 중앙 연구소 예산의 50% 이상을 산업성과 석탄청에서 부담함 · 1920년대부터 혼합 시멘트를 연구하여 전체 시멘트의 90%가 혼합 시멘트임
미국	<ul style="list-style-type: none"> · 정부 계약공사에 석탄회 이용을 장려함 · 에너지 연구 개발국, 석탄재 협회, 전력 연구소 등이 석탄회 재활용을 촉구함
일본	<ul style="list-style-type: none"> · 석탄 기술 연구소, 전력 중앙 연구소 등의 단체가 유효 이용기술 개발을 지원함 · 통산성에서 보조금을 지급함 · 플라이 애쉬를 사용한 콘크리트 배합 설계·시공 지침을 마련함 · High-volume 플라이 애쉬 콘크리트의 실용화를 위한 연구가 활발하게 진행됨

국내의 경우, 바텀애시는 표 2 바텀애시의 년도별 재활용 현황과 전망에 나타난 바와 같이 2009년의 경우에 바

텀애시는 한정적인 재활용 수요로 인해 재활용률이 39%를 기록하였으며, 2005년 대비 16% 증가하였지만, 2015년의 재활용률에 대한 예상 값은 2009년과 비슷한 수준으로 전망된다²⁾.



〔그림 3〕 바텀애시의 재활용 현황

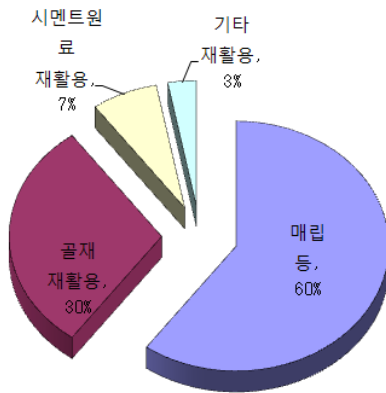
표 3 및 그림 4에 나타난 바와 같이 바텀애시 전체 발생량의 약 30.2%가 시멘트 부원료 및 프리캐스트 콘크리트 골재, 성토용 골재로서 재활용 되었으며, 60.3%가 매립되고 있는 실정이다⁶⁾. 또한 바텀애시는 현재 골재자원의 공급에 대한 여유가 있어 대체골재에 대한 수요가 많지 않지만 천연자원 보호 및 환경보존 측면에서 다양한 용도 개발 및 품질확보에 대한 기술의 발전과 함께 재활용 분야의 확장을 위해 노력하고 있다. 특히, 바텀애시의 높은 보수력 및 통기성 등의 특성은 농업분야에 활용이 가능하여 수입에 의존하는 펄라이트, 질석을 대체하는 상토 분야와 옥상녹화 분야의 육성토양, 배수층 골재, 골프장 및 조경 분야에 자갈과 모래 대용으로 연구개발 결과를 활용하여 상용화를 추진 중에 있다⁷⁾.

〈표 3〉 바텀애시의 재활용 분야(2009년)⁶⁾

구분	발생량 (천톤)	재활용량 (천 톤)					매립 등
		시멘트 원료	레미콘	골재	기타	소계	
바텀 애쉬	1,510	100 (6.6%)	-	456 (30.2%)	42 (2.8%)	598 (39.6%)	912 (60.4%)

<표 2> 바텀애시의 연도별 재활용 현황과 전망

구분	발생량 (천 톤)			재활용량 (천 톤)			재활용률 (%)		
	2005년	2009년	2015년	2005년	2009년	2015년	2005년	2009년	2015년
남동발전	290	340	704	60	110	225	21	32	32
중부발전	200	240	394	3	30	51	2	13	13
서부발전	120	140	327	20	30	69	17	21	21
남부발전	110	240	293	10	120	147	9	50	50
동서발전	360	550	590	160	300	295	44	55	50
합 계	1,080	1,510	2,308	250	590	786	23	39	39



[그림 4] 2009년 바텀애시의 재활용 실태

참고문헌

1. 한국전력공사, 석탄회 이용 가치와 재활용 기술, 1994.
2. 권기주, “화력발전 부산물의 콘크리트에의 활용”, 대한건축학회지, Vol. 54, No. 2, 2010, pp. 46-49.
3. 한국콘크리트학회, 콘크리트와 환경, 2010. 10.
4. 환경부 고시, 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률, 전문개정 2002.
5. 환경부 고시, 철강슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용 지침, 2009.
6. 한국남부발전, 석탄회 재활용 선진화 전력, 2009.
7. 동해씨티, 석탄바닥재 (Bottom Ash)의 농업적 이용 실용화기술 개발, 2