

Bottom-ash(무연탄)를 적용한 고유동 충전재의 물리·역학적 성능 비교

Physical and Mechanical Efficiency of Flowable Fill Applied Bottom Ash(Anthracite Coal)

김 성 수* 김 동 현** 박 광 필**
Kim, Seong Soo Kim, Dong Hyun Park, Kwang Pill

ABSTRACT

In this study, the physical and mechanical characteristics of Bottom-ash exhausted from each of steam power plant was considered. The comparative objects were Bottom-ash in which a lot of powder contained and that in which less than that relatively contained. The difference in quantity of powder showed different effect on the character of flow. This study was undertaken on the use of Bottom-ash as a fine aggregate, and showed the optimum mixing and the character of flow according to each rate. And this study showed the quantity of water and binder added in different Bottom-ash was differently used.

1. 서론

최근, 산업폐기물의 방치나 폐기처분에 의해 유발되는 환경오염에 대한 문제가 심각하게 나타나고 있고, 이에 맞춰 국내·외적으로 폐석탄재의 재활용에 대한 연구가 계속적으로 진행되고 있으며, 국내에서는 주로 플라이애시를 정제하여 콘크리트용 혼화재료로 활용하는 것이 대부분을 차지하고 있을 뿐 Bottom-ash는 매립용으로 소량 사용하거나 전량 폐기되고 있는 실정이다. 그러나 선진외국에서는 Bottom-ash를 모래의 대체재로 사용하며 도로용 콘크리트나 충전재 등을 개발하여 유효하게 활용하기 위한 연구를 계속하고 있다.

본 연구에서는 고유동 충전재의 최적배합을 검토하여 국내 화력발전소 두 곳(서천화력발전소, 영월 화력발전소)의 Bottom-ash를 적용한 고유동 충전재의 물리·역학적 성능을 비교실험 하였다. 발전소마다 서로 다른 석탄재처리방법을 사용하고 있으므로 그중 가장 대표적인 Bottom-ash들을 가지고 고유동 충전재의 배합과 흐름특성 및 입도 등을 비교실험 하였다.

*정회원, 대전대학교 토목공학과 교수
**정회원, 대전대학교 대학원 석사과정

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트 : 비중 3.15 및 비표면적 $3,112\text{cm}^2/\text{g}$ 인 S사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 조성광물과 모르터의 압축강도를 나타낸 것이 표 1 이다.

표 1 시멘트의 조성광물 및 압축강도

항목	조성광물(%)				압축강도(kgf/cm ²)		
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	3일	7일	28일
OPC	50	21	10	10	225	351	430

(2) 플라이애시 : 비중 2.1 및 비표면적 $3,600\text{cm}^2/\text{g}$ 인 양질의 플라이애시를 사용하였으며, 플라이애시의 화학성분을 나타낸 것이 표 2 이다.

표 2 플라이애시의 화학성분(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
52.0	27.01	3.93	7.85	1.92	0.58	0.73	0.13

(3) 잔골재 및 Bottom-ash : 잔골재는 비중 2.6, 흡수율 0.93 및 조립율 2.33인 강모래를 사용하였다. 서천화력발전소에서 배출된 Bottom-ash는 비중 1.9이며, 조립률이 비교적 잔골재에 적합한 형태를 지니고 있는 무연탄에서 발생된 폐석탄회이고 영월화력발전소에서 배출된 Bottom-ash는 비중 2.2이고 조립율은 3.2이다.

(4) 화학혼화제 : 혼화제로는 주성분이 리그닌술폰산 칼슘인 감수제와 주성분이 나프탈렌 축합물인 고성능감수제를 사용하였다. 두 화학혼화제의 물리적 성질을 나타낸 것이 표 3 이다.

표 3 화학혼화제의 물리적 성질

주성분	형태	비중	표준사용량(%)	고형분
리그닌술폰산 칼슘	갈색분말	0.8(겉보기 비중)	0.15~0.3	93% 이상
나프탈렌 축합물	암갈색 액체	1.220(20℃)	0.4~3.0	42±2%

2.2 실험방법

(1) 입도실험 : Bottom-ash 및 강모래의 체가름시험은 골재의 체가름 시험방법(KS F 2502)에 의하여 두차례이상 시험하여 평균값을 취하였다.

(2) 강열감량 : 서천과 영월화력발전소에서 배출되는 Bottom-ash와 강모래의 강열감량을 알기 위해 1200℃까지 가열이 가능한 전기로에서 700℃, 800℃, 900℃ 및 1000℃로 각각 60분씩 강열하여 감소되는 무게를 측정하여 가열하기 전의 무게에 대한 비로 강열감량을 나타내었다.

(3) 압축강도시험 : 압축강도는 시멘트 모르터의 압축강도 시험방법(KS L 5105)에 의해 각각의 배합별로 공시체를 제작하여 7일 및 28일의 강도를 측정하였다.

(4) 충전재 흐름시험 : ACI committee 229에서 규정하고 있는 방법으로 원통형의 몰드에 충전재를 채워 마찰이 적은 유리판 위에서 몰드를 직각으로 들어올린 다음 30초 후 퍼진 지름을 측정한다.

의 평균을 사용하였다.

(5) Bottom-ash의 미세조직분석

Bottom-ash의 미세조직을 분석하기 위하여 플라이애시와 Bottom-ash의 분말과 적당한 크기의 시료를 XL30/40ESEM(Philips)을 사용하여 40, 300, 1000, 5000 및 8000배 확대 촬영하였으며, EDS분석은 ESEM분석할 때의 시료를 접 및 면을 지정하여 분석하였다. EDS분석기기는 SEAX Falcon Energy System 60SEM을 사용하여 측정하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 Bottom-ash의 입도 분포

골재의 입도는 작은 입자와 굵은 입자가 적당히 혼합되어 있는 양호한 입도분포 일 때 입자의 크기가 균일한 경우에 비해 워커빌리티, 강도, 내구성 및 수밀성 등에 좋은 콘크리트를 만들 수 있다. 그림 1은 강모래와 서천·영월화력발전소의 Bottom-ash의 입도곡선을 나타낸 것으로서 서천산과 영월산의 Bottom-ash의

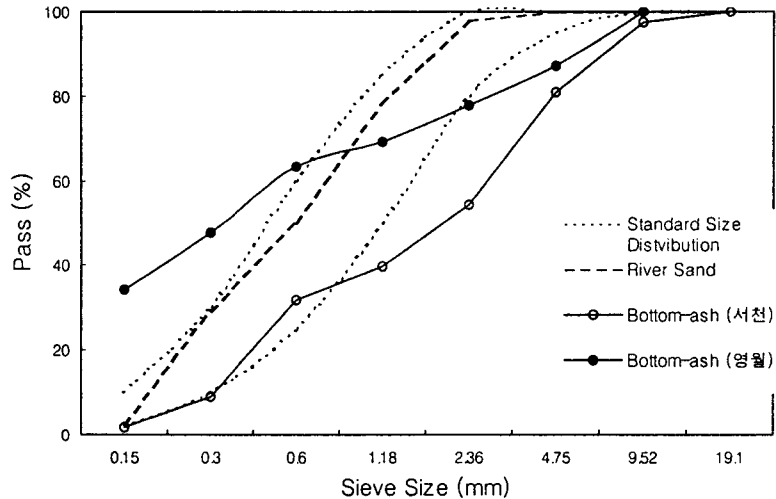


그림 1 입도곡선

입도곡선이 잔골재 표준입도와 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 서천산에 비하여 영월산의 Bottom-ash가 미분이 많은 것으로 나타났다. 이것은 서천화력발전소에서는 석탄재를 정제하여 플라이애시를 구분하고 남은 Bottom-ash이고, 이것을 해수로 식히는 과정에서 상당량의 미분이 씻겨나가는 것으로 판단된다. 영월화력발전소에서는 플라이애시를 정제하지 않은 상태의 석탄재를 거대한 두 개의 수조에 물과 함께 뿌려주는 방법으로 미분이 씻겨나가지 않아 상대적으로 미분이 많이 존재하는 것으로 판단된다.

3.2 Bottom-ash와 강모래의 가열온도에 따른 강열감량

그림 2는 순서대로 강모래와 영월산 Bottom-ash, 서천산 Bottom-ash를 각각 700, 800, 900, 1000℃에서 60분간 가열하여 감량된 무게

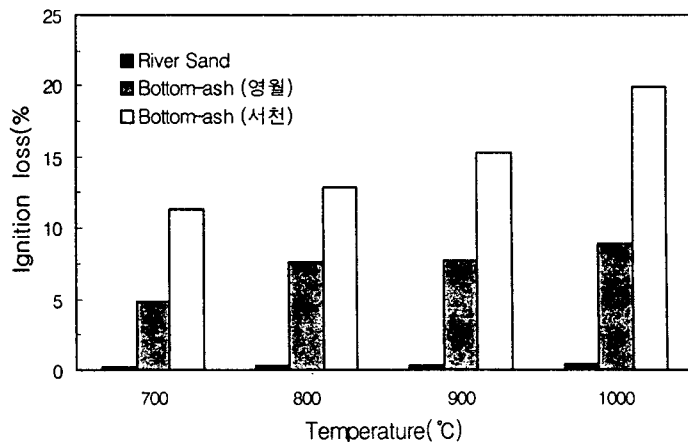


그림 2 무연탄 Bottom-ash의 가열온도에 따른 강열감량비

비를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 강모래의 감량 비는 최고 0.42%의 낮은 감량을 나타내는데 반해 서천화력발전소의 Bottom-ash의 감량은 1000℃에서의 최고 19.98 %의 감량 비를 보이고 있다. 이것은 서천화력발전소에서 사용되는 무연탄의 석탄재가 미연탄소량을 다량 함유하고 있는 것을 알 수 있다. 영월화력발전소의 Bottom-ash에서는 입도곡선에서 나타나는 바와 같이 전 연소된 미분을 다량 함유하고 있는 것으로 강열감량비도 서천산의 Bottom-ash보다 비교적 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 미연탄소량은 고유동충전재의 흐름 및 공기량에도 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 판단된다.

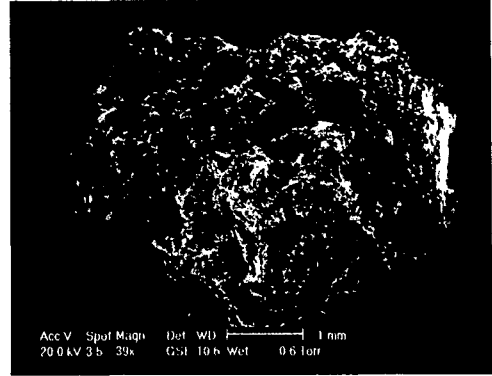


그림 3 Bottom-ash의 ESEM 분석

3.3 무연탄 Bottom-ash의 미세조직분석

그림 3은 Bottom-ash를 40배확대 촬영한 것으로 보이는 바와 같이 다공성을 가지는 것이 확인되었다. 그림 4와 그림 5는 각각 플라이애시와 Bottom-ash를 8000배 및 300배 확대 촬영한 것이다. 입자의 모양과 크기에서 많은 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

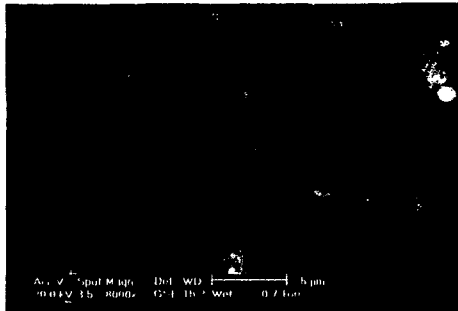


그림 4 플라이애시의 ESEM 분석

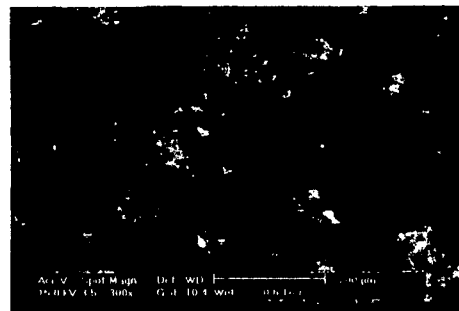


그림 5 Bottom-ash의 ESEM 분석

서천과 영월산 Bottom-ash는 각각의 ESEM분석결과 크게 다른 점을 찾을 수는 없었다. 같은 형상에 같은 모양을 가지고 있었으나 영월산의 Bottom-ash에 더 많은 미분이 보이는 것만이 나타났다

그림 6에서 ①②③의 그래프는 그림 5의 각각의 입자에 대한 EDS분석을 나타낸 것이고 ④의 그래프는 그림 4의 분석을 나타낸 것이다.

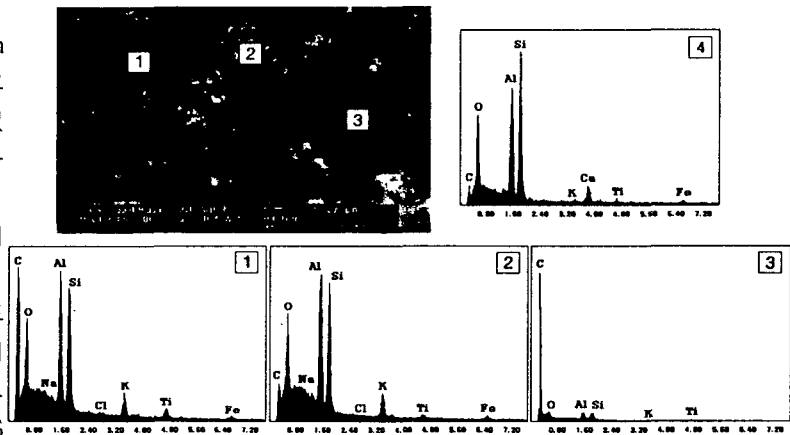


그림 6 Bottom-ash와 플라이애시의 EDS 분석

①③의 그래프를 보면 각각의 성분차이는 있지만 탄소의 양이 플라이애시의 탄소량보다 상당히 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 여기서 보이는 탄소는 미연탄소로 보이며 ESEM분석과 EDS분석의 결과로 나타나는 다공질과 미연탄소량은 유동성과 충전재 내부 최적공기량 등에 좋지 않은 영향을 주리라 생각된다. 그러나 ①②의 그래프에서 나타나는 Al과 Si의 peck로 보아 골재로서의 적용가능성을 나타낸다.

3.4 충전재의 흐름특성시험

Bottom-ash를 사용한 충전재의 유동 특성을 알아보기 위하여 물-결합재비를 80% 및 결합재량을 320kg/m^3 으로 하고 Bottom-ash의 대체율 및 화학 혼화제의 첨가량에 따른 충전재의 흐름값을 나타낸 것이 그림 7이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 서천화력발전소의 Bottom-ash는 대체율이 증가할수록 흐름값이 크게 감소하고 있으며 Bottom-ash의 대체율이 15%일 경우 거의 유동성이 나타나지 않았다. 그러나 영월화력발전소의 Bottom-ash는 처음 5%일 경우 흐름값이 약간 감소하지만 10%의 경우 다시 늘어나고 15%에서 부터는 다시 조금씩 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 서천산에 비해 영월산의 Bottom-ash가 다량의 미분을 함유하고 있으므로 Bottom-ash의 대체량을 증가시킬수록 결합재의 양도 함께 늘어나는 효과를 가지게 된다. 그러므로 충전모르터의 점도도 함께

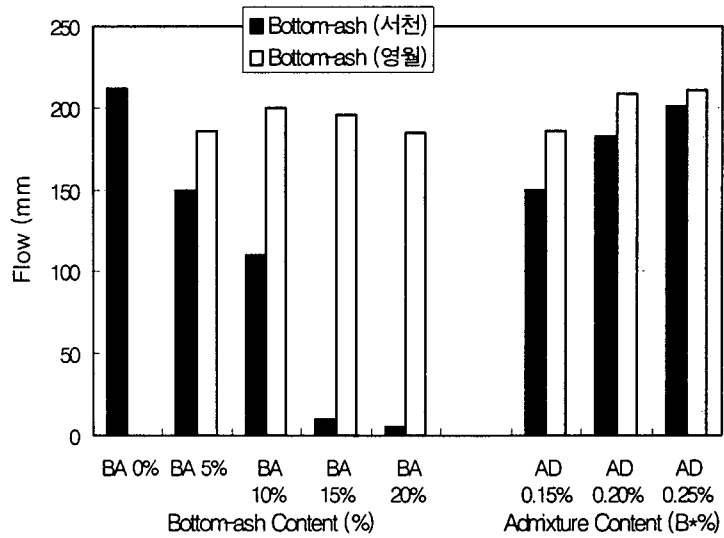


그림 7 충전재의 흐름특성

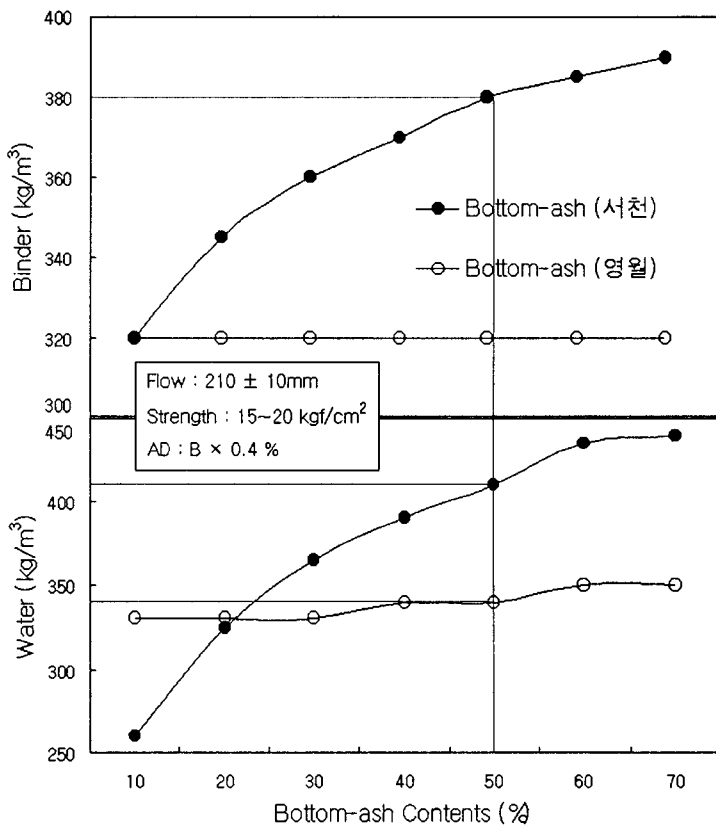


그림 8 Bottom-ash의 대체량에 따른 단위수량 및 결합재량

늘어나고 적당한 점도는 흐름에 좋은 영향을 주는 것으로 판단된다. 한편 화학혼화제인 감수제는 결합재량에 대해 0.15, 0.20 및 0.25% 첨가할 경우 첨가량이 증가할수록 흐름값이 증가됨을 알 수 있었다.

3.5 무연탄 Bottom-ash를 적용한 충전재의 최적배합

무연탄 Bottom-ash를 사용한 고유동 충전재의 최적배합을 결정하기 위하여 충전재 강도 15~20kgf/cm²을 만족하고, 흐름값이 210±10mm가 되도록 단위수량과 결합재를 변화시킨 결과를 정리한 것이 그림 8이다. 그림에서 보는 바와 같이 서천화력발전소의 Bottom-ash는 대체량이 많아짐에 따라 단위수량과 결합재량이 증가해야 함을 알 수 있으며, 영월화력발전소의 Bottom-ash는 결합재량의 증가 없이 약간의 단위수량의 증가로 더욱 좋은 흐름값을 가지는 것을 알 수 있었다. 충전재를 배합한 후의 상태를 보면 서천산에 비해 적은 물량과 결합재량이 들어간 영월산의 Bottom-ash를 적용한 충전재의 흐름이 더욱 좋았고, 늘어난 점도 때문에 더 이상의 결합재의 필요성을 느끼지 못하면서 재료 분리를 막아주는 결과를 나타내었다. 두종류의 무연탄 Bottom-ash의 최적배합은 잔골재 대체 50%일 때 서천산은 결합재 380kg/m³, 단위수량 410kg/m³의 배합이 좋고, 영월산 결합재 320kg/m³, 단위수량 340kg/m³의 배합을 제시한다.

4. 결론

(1) 입도분석 결과 잔골재의 표준입도에서 크게 벗어나지 않은 결과를 보였으며, 서천산과 영월산의 차이는 영월산에 다량으로 포함되어있는 미분 외에는 큰 차이점이 없는 것으로 나타났다.

(2) Bottom-ash의 강열감량 측정결과 가열온도가 증가할수록 서천과 영월 두 재료 모두 감량이 증가하고 있었으며, 특히 서천산은 1000℃에서 19.98% 정도의 큰 값을 나타내어 미연탄소량이 다량 포함되어 있는 것을 알 수 있었다.

(3) 무연탄 Bottom-ash의 미세조직분석결과 다공성에 갖가지 모양의 입자들을 가지고 있는 것을 알 수 있었다. EDS분석에서는 플라이애시에 비교하여 큰 탄소(C)의 Peck를 나타내는 것을 알 수 있었으며, 작은 입자들 사이에는 크게 3종류의 형태를 가지는 입자들의 성분들도 각각 다르다는 것을 알 수 있었다.

(4) 충전재의 흐름 특성시험 결과 미분이 다량 함유된 영월산의 Bottom-ash가 충전재에 더욱 좋은 재료임을 알 수 있었고, 서천산도 약간의 처리공정의 개선만 있다면 충분히 사용이 가능한 재료임을 알 수 있었다.

(5) 서천화력발전소와 영월화력발전소의 무연탄 Bottom-ash를 적용한 고유동 충전재의 최적배합으로는 잔골재의 대체비 50%일 경우 서천산 Bottom-ash는 결합재 380kg/m³, 단위수량 410kg/m³의 배합이 좋고, 영월산 Bottom-ash는 결합재 320kg/m³, 단위수량 340kg/m³에서 좋은 흐름값을 나타내어 최적배합으로 추천한다.

참 고 문 헌

1. 문한영, 서정우(1997), 콘크리트 혼화재료, 한국콘크리트학회 편, pp. 186~216.
2. 김성수, 원종필 외(2000), 가을학술발표논문집, 한국콘크리트학회 편, pp. 369~372
3. Report by ACI Committee 229, "Controlled low strength materials, Concrete International", July 1994. pp.55~64