

화력발전소 바닥재의 포졸란 특성

한기춘, 조희찬*, 김관호*, 김정아**, 안지환,

한국지질자원연구원
서울대학교*
인하대학교**

Pozzolanic Properties of Coal Bottom Ash

Gi-chun Han, Jung-Ah Kim*, Kwan-Ho Kim**, Ji-Whan Ahn, Hee-Chan Cho**

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

*Seoul National University

**Inha University

요 약 : 본 연구에서는 공냉(空冷)된 화력발전소 바닥재의 입도분포, 화학조성, 광물상 등 기초 특성과 압축강도비에 의해 포졸란 반응성을 측정하였다. 바닥재의 주요 성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃로 이들의 합계가 91.2wt.%였으며, 주요 광물상은 mullite, quartz, cristobalite, tridymite, hematite 등이었다. 입도별 화학조성 변동은 거의 없었으나, 입도가 커짐에 따라 SiO₂는 quartz에서 cristobalite로 존재하는 비율이 증가하였다. 분쇄된 바닥재 (blaine 비표면적 7,540cm²/g)의 양생 28일에서의 활성도 지수는 101을 나타내었다.

1. 서 론

화력발전소로부터 발생하는 석탄회는 역청탄의 경우 원료의 8-15%, 무연탄의 경우 20-40%정도가 발생되며, 2001년 기준 약 491만톤이 발생하여 이 중 약 63%가 재활용되었다. 석탄회는 그 발생위치에 따라 절탄기, 공기예열기 하부에 모이는 cinder ash, 전기집진기에 모이는 fly ash, 노벽, 과열기 등으로부터 보일러 바닥으로 떨어지는 bottom ash로 나뉘며, 탄종이나 연소조건에 따라 다르지만, 전체 석탄회 발생량의 5%정도가 cinder ash로, 75-80%가 fly ash로 발생되며 bottom ash는 15-20%정도 발생된다. Fly ash가 석탄회 재활용의 대부분을 차지하는데 fly ash는 자체적으로는 반응성이 없으나 Ca(OH)₂와 같은 알칼리 분위기에서는 상온에서 서서히 반응하여 불용성의 화합물을 생성함으로써 콘크리트의 장기강도를 증진시키는 포졸란 성질을 가지고 있어 콘크리트의 혼화재로 사용되며, 그 밖에 시멘트 원료, 토질개량재, 비료 원료 등으로 재이용된다. 한편 비산재에 비해 조립인 바닥재는 보일러 밑으로 낙하, 분쇄되어 벨트 컨베이어로 ash pond로 이송되며, 이송되기 전에 해수를 사용하여 냉각된다. 이러한 바닥재에 대해 국내에서는 아직까지 재활용사례가 없으나, 국외에서는 콘크리트의 잔골재 대용이나, 노반재, 채움재 등으로 사용되고 있다. 이러한 바닥재의 재활용 용도는 주로 화학적 특성에 의한 비산재의 재이용과는 달리 입도분포 등 주로 물리적 성질에 따라 결정된다.

한편, 여러 연구에서 바닥재의 일정부분(75 μ m이하)이 포졸란 성질을 가진다고 보고하고 있다. 그러나, 이러한 연구는 해수로 냉각된 바닥재에 국한되어 있어 입자 크기와 더불어 해수 냉각에 의한 높은 염분의 함유량으로 인해 혼화재로서의 활용에 제한적일 수 있다. 이러한 문제점의 해결방법으로 공기에 의한 냉각방식이 유효할 수 있다. 그러나 국내에서는

아직까지 공기로 냉각된 사례가 없기 때문에, 공냉 방식에 의한 바닥재의 물리적 성질이나 화학적 성질에 대한 기초 자료 등의 연구가 필요하다.

본 연구에서는 화력발전소의 운휴 기간에 바닥재를 채취하여 공냉된 바닥재의 입도분포, 화학조성, 중금속 함유량, 광물상 등 기초 특성을 분석하였으며, 그 포졸란 반응성을 측정하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 시료

국내 하동지역의 화력발전소로부터 발생된 바닥재를 본 연구의 시료로 사용하였다. 공기로 냉각된 바닥재의 특성 및 포졸란 성질을 파악하기 위해 화력발전소가 정지한 상태에서 지하부에 있는 바닥재를 채취한 후 10kg의 대표시료를 취해 각 실험의 시료로 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 바닥재 특성

화학조성, 중금속 함유량, 중금속 및 염소 용출량, 광물상 등을 조사하였다. 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 및 270mesh 표준체로 사분하여 입도에 따른 특성을 파악하였다.

화학조성은 X선 형광분석기(MXF-2100, Shimadzu)로, 광물상은 X-선 회절분석기(X'pert, Phillips)를 이용하여 분석하였다. 중금속 함유량 및 중금속 용출량은 은 유도결합 플라즈마분광기(ICP-AES 7500, Shimadzu)에 의해 측정하였다. 중금속 함유량은 질산-불산-과염소산(4:4:1)으로 용해시킨 후 측정하였으며, 중금속 용출량은 국내 폐기물 용출공정 시험방법에 준하여 실험한 후 용출액 중의 중금속 농도를 분석하였다.

2.2.2. 포졸란 반응성

KS L 5405에 준하여 측정하였다. 중량비로 25%의 바닥재와 75%의 시멘트 혼합물 및 시멘트만을 단독으로 하여 5mm×5mm×5mm의 모르타르 공시체를 제작하여 1일 후 탈형하여 20℃에서 수중 양생하였다. 28일 후 압축강도를 측정하여 강도비로서 포졸란 반응성을 구하였다. 시험에 사용된 바닥재는 바닥재 전체를 분쇄하여 blaine 비표면적 7540cm²/g인 시료를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

바닥재의 입도분포는 Fig. 1과 같이 4mesh 이하가 71.1wt.%를 차지하였다. 바닥재 시료의 화학조성은 Table 1과 같다. SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃함유량은 각각 51.77%, 21.99wt.%, 15.68wt.%였으며, 강열감량은 0.99wt.%로 화학성분상으로 한국산업규격의 플라이 애시(KS L 5405) 규격에 부합하였고, ASTM C 618에 의한 분류에 보면, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 함유량의 합계가 91.2wt.%이며, 알칼리(Na₂O 환산)성분의 함유량이 0.98wt.%로 Class F(SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃=최소 70.0wt.%, 알칼리 함유량 1.5wt.%이하)에 해당한다.

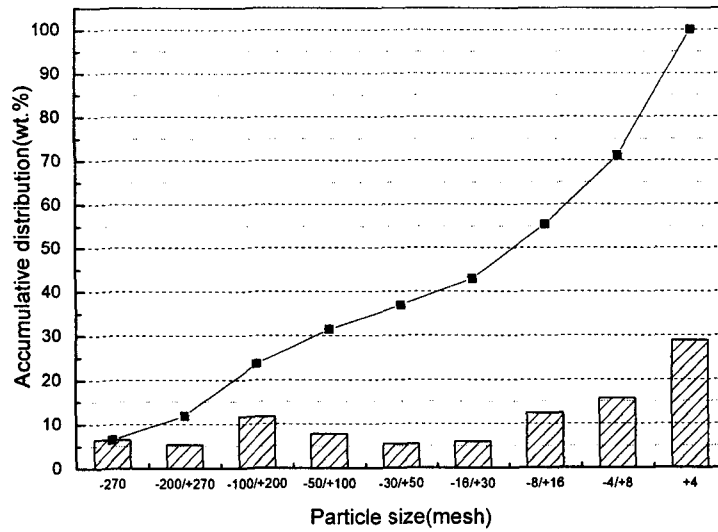


Fig. 1. Particle size distribution of the sample.

중금속 함유량은 Cu는 20mg/kg, Pb는 21mg/kg, Cr은 70mg/kg, As와 Cd는 1mg/kg이 하였으며, 입자 크기에 따른 차이를 보이지 않았다. 중금속 용출량은 입자 크기와 상관없이 모두 불검출되었다.

광물상은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 mullite, quartz, cristobalite, tridymite, hematite 등이며, 장식류가 일부 포함되어 있다. 특히, 비산재의 주요 결정질 광물이 mullite와 quartz인 것과 비교(참고문헌)하면 SiO₂의 동질이상형인 quartz, cristobalite, tridymite가 혼재하는 것이 특징적이라 할 수 있다. 입도별 특성은 SiO₂의 경우 입도가 작은 부분에서는 주로 quartz와 tridymite로 존재하였고 입도가 커짐에 따라 cristobalite로 존재하였다. 바닥재 전체를 분쇄하여 blaine 비표면적 7540cm²/g인 시료를 사용한 활성도 지수는 양생 28일에서 101로 KS L 5405의 1종을 만족하였다.

Table 1. Chemical composition of the sample with various particle size

(Unit : wt.%)

Particle size(mesh)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Total	51.77	21.99	15.68	4.42	0.88	1.05	0.34	1.09	0.13	0.47
+ 4	52.23	22.89	15.48	4.36	0.87	1.02	0.30	1.17	0.13	0.46
-4/+ 8	51.99	22.77	16.11	4.98	0.96	1.07	0.33	1.11	0.12	0.51
-8/+ 16	53.17	23.41	14.53	4.68	0.88	1.03	0.32	1.15	0.12	0.53
-16/+ 30	52.48	21.90	16.42	4.29	0.84	1.03	0.32	1.04	0.14	0.45
-30/+ 50	52.95	21.36	15.92	4.62	0.85	1.01	0.32	1.02	0.14	0.44
-50/+ 100	52.48	20.65	13.19	4.88	0.85	1.08	0.36	0.97	0.13	0.42
-100/+ 200	49.16	19.51	16.30	4.05	0.91	1.14	0.45	0.95	0.15	0.41
-200/+ 270	46.70	18.91	21.96	3.59	0.90	1.02	0.40	0.99	0.16	0.44
-270	52.92	22.60	13.51	3.52	0.68	1.02	0.41	1.14	0.08	0.52

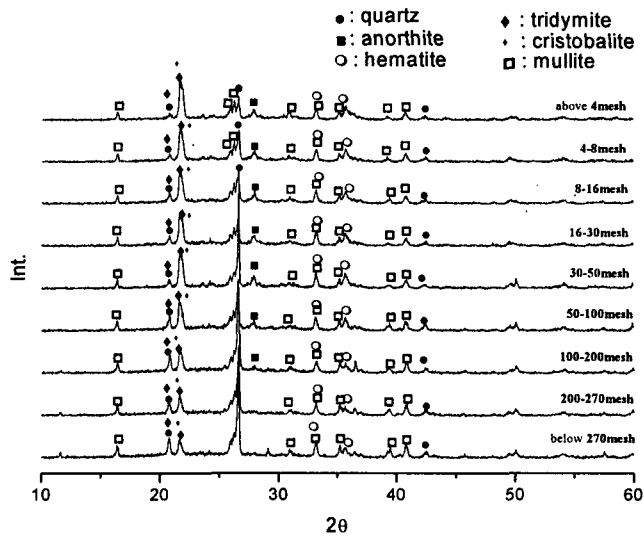


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of the sample with various particle size.

4. 결론

1. 공냉된 바닥재의 화학조성은 SiO_2 함유량은 51.77%였으며, 강열감량은 0.99wt,%로 화학성분상으로 한국산업규격의 플라이 애시 1종(KS L 5405)에 부합하였다. 중금속 함유량은 Cu는 20mg/kg, Pb는 21mg/kg, Cr은 70mg/kg, As와 Cd는 1mg/kg이하였으며, 입자 크기에 따른 차이를 보이지 않았다. 중금속 용출량은 입자 크기와 상관없이 모두 불검출되었다. 구성광물은 mullite, quartz, cristobalite, tridymite, hematite 등이었으며, SiO_2 의 경우 입도가 작은 부분에서는 주로 quartz와 tridymite로 존재하였고 입도가 커짐에 따라 cristobalite로 존재하였다.

2. 바닥재 전체를 분쇄하여 blaine 비표면적 $7540\text{cm}^2/\text{g}$ 인 시료를 사용한 압축강도비는 양생 28일에서 101로 KS L 5405의 플라이 애쉬 1종의 28일에서의 활성도 지수인 90이상을 만족하였다.

참고문헌

1. N. Ghgafoori, Y. Cai, 1998 : Laboratory-made roller compacted concretes containing dry bottom ash : Part I-Mechanical properties, ACI mater Journal, 95(2), pp121-130.
2. N. Ghgafoori, Y. Cai, 1998 : Laboratory-made roller compacted concretes containing dry bottom ash : Part II-Long term durability, ACI mater Journal, 95(3), pp244-251.
3. H. Afshin, Y. Matsufuji, 1998 : High-performance lightweight concrete containing large quantities of coal combustion by-products, Proceedings of the Three-Day CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development of the Cement and Concrete Industry, pp511-521.
4. M. Cheriaf, J. Cavalcante Rocha, J. Péra, 1999 : Pozzolanic properties of pulverized coal combustion bottom ash, Cement and Concrete Research, 29, pp1387-1391.
5. R. V. Ranganath, B. Bhattzachejee, S. Krishnamoorthy, 1998 : Influence of size fractions of ponded ash on its pozzolanic activity, Cement and Concrete Research, 28, pp749-761.