

석탄광산 배수슬러지의 연탄첨가물로서의 타당성 연구

오세강^{1,4} · 박찬오¹ · 곽용완¹ · 이영재² · 이현주³ · 심연식³ · 권현호³ · 이재영^{4*}

¹한국광물자원공사, ²고려대학교 지구환경과학과, ³한국광해관리공단, ⁴서울시립대학교 환경공학부

A Feasible Study for the Usage of Sludge in Coal Mine Drainage as a Briquette Additive

Sae Gang Oh^{1,4} · Chan Ho Park¹ · Yong-wan Kwak¹ · Young Jae Lee² · Hyun-Ju Lee³
Yon-Sik Shim³ · Hyun-Ho Kwon³ · Jai-Young Lee^{4*}

¹Korea Resources Corporation

²Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University

³Mine Reclamation Corporation

⁴Department of Environmental Engineering, University of Seoul

ABSTRACT

Possibility of the usage of sludge generated in coal mine drainage treatments as a briquette additive was investigated by the combination of industrial, elemental, and combustion experiments. A series of briquettes having 2% and 6% of sludge were used for the experiments. Compared to the control sample, our results show that all experimental values for the briquettes are very similar. In particular, it is worthy to note that there is no obvious difference in calorific values for the briquettes containing 2% or 6% of sludge. The calorific values are 4,250~4,360 kcal/kg, 4,240~4,250 kcal/kg, 4,180~4,210 kcal/kg, and 4,270~4,360 kcal/kg for the control sample, briquette containing 6% of Hambaek sludge, briquette containing 6% of Hamtae sludge, and briquette containing 2% of Hambaek sludge, respectively. Results of ash fusion temperature show that the temperature is greater than 1,550°C for the control sample. However, the temperature for the briquettes with 6% of Hambaek sludge and 2% of Hambaek or Hamtae sludge is 1,510°C. For a briquette containing 6% of Hamtae sludge, the temperature of ash fusion is 1,530°C. After combustion, environmental impacts of the briquettes with sludge were tested. Little environmental influence was observed for the combusted briquettes with sludge.

Key words : Coal mine drainage, Sludge, Briquette, Caloric value, Environmental impact

1. 서 론

석탄 폐광산 주변은 광물 내 다량의 황철석(FeS₂) 등의 영향으로 인하여 산성 광산 침출수가 발생되거나 폐석더미로부터 지속적으로 배출되는 다량의 산성광산배수(AMD, Acid Mine Drainage)가 수계를 오염시켜 수중 생태계를 파괴할 뿐만 아니라 인간 생활에 악영향을 주고 있다. 이러한 산성광산 배수를 처리에 대한 연구는(이춘택 1983) 등에 의해 초기에는 주로 물리·화학적 처리법 연구가 수행되었으나 1990년대는 지구화학적 측면과(허봉과 유재영, 1998), 환경오염 영향의 측면(정명채, 2003; 유재영, 1996;

석탄산업합리화사업단, 1997)에서 동시에 이루어졌다. 그러나 광산배수 처리과정에서 발생하는 점결성과 비중이 가볍고, 수분함량이 높은 슬러지가 발생하며, 슬러지 처리에 대한 연구 또한 아주 미미한 상태로 지금까지는 매립 또는 시멘트 부원료 첨가제로 활용하는 정도로만 재활용되고 있으며, 뿐만 아니라 연탄 첨가물에 대한 연구에서도 연탄강도와 연소에 관하여 확실하게 정립된 이론을 찾아내기는 연탄의 서로 다른 배합비 및 석탄 구성물의 복잡한 화합물을 고려 할 때 정확한 이론을 찾기란 힘들다(한동진, 1982; 박주식, 1991). 현재까지 수행된 연구들은 주로 수입무연탄의 혼합을 향상에 따른 연탄의 품질 개선

*Corresponding author : leejy@uos.ac.kr

원고접수일 : 2010. 9. 29 심사일 : 2010. 10. 12 게재승인일 : 2010. 12. 4
질의 및 토의 : 2011. 2. 28 까지

Table 1. Briquette for experiments by a sludge mixture ratio

	A mixture ratio of Sludge	Amount	Weight		
			Anthracite coal	Sludge	Briquette
A*	0	30	3.61	–	3.61
B	2% Hamtae Sludge	30	3.54	0.072	3.61
C	2% Hambaek Sludge	30	3.54	0.072	3.61
D	6% Hamtae Sludge	30	3.39	0.216	3.61
E	6% Hambaek Sludge	30	3.39	0.216	3.61

* : Original briquette (control sample)

에 초점을 맞추었고, 수입무연탄의 혼합율을 높이기 위하여 수입무연탄의 혼합에 따른 축소탄을 제조하여, 탄중, 점결제 첨가, 성형조건, 수입무연탄 혼합율에 따른 연소실험, 성형탄의 파쇄강도 측정, 연소 후 연탄회재의 파쇄강도 측정 등의 실험 등을 수행하였다(김형택, 1992; 박원훈, 1981). 이들의 결론에 따르면 일반적으로 수입무연탄의 혼합율은 10% 내외가 적당하며 적점토 첨가 시, 수입무연탄을 30% 정도 섞어도 연탄품질에 큰 영향을 미치지 않는다는 연구결과가 보고되고 있다(황성국, 1983; 박동진, 1981). 본 연구는 대표적인 석탄광산 처리시설인 물리화학적 공정의 함태광산과 전기적 공정을 활용한 함백광산의 슬러지를 연구대상으로 슬러지가 연탄의 첨가재의 부원료로서의 타당성 연구를 통해 향후 발생하는 슬러지의 처리 활용도를 넓히고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

실험 재료는 물리·화학적 공정의 함태광산 슬러지와 전기화학적 공정의 함백광산의 슬러지를 이용하였으며, 원탄은 태백시에서 생산된 무연탄을 사용하였다.

슬러지는 자연 건조방식으로 두께 약 10 cm을 유지한 상태에서 하루 1회의 섞기과정을 포함 20일간 풍건 후 실험용 슬러지로 사용하였다. 연탄은 한국산업규격에 따라 무게 3.6 kg(가정용 연탄 2호, 건조무게 3.3 kg 이상), 지름 150 mm, 높이 142 mm의 규정을 준수하여 연탄공장에서 자동화 기계를 이용하여 2%와 6%의 무게비율로 아래표와 같이 혼합 제조하였다.

2.2. 원탄 및 슬러지가 첨가된 연탄의 공업 및 원소분석

원탄 및 슬러지가 함유된 연탄의 각 항목별 분석은 공업분석과 원소분석으로 구분된다. 공업분석은 수분(total moisture, ASTM D3302-05), 고유수분(inherent moisture,

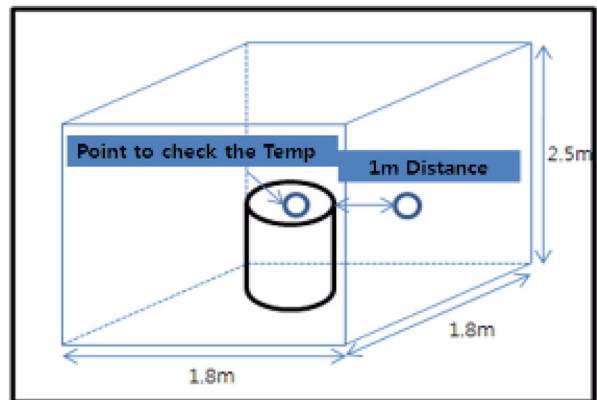


Fig. 1. Schematic illustration of gas combustion experiments.

ASTM D3173-03), 휘발분(volatic matter, ASTM D3175-02), 고정탄소(fixed carbon, ASTM D3172), 회분(ash, ASTM D3174-04)으로 나뉜다. 탄소(carbon), 수소(hydrogen), 질소(nitrogen), 산소(oxygen)의 원소분석은 ASTM D5373-02으로 분석하였으며, 유황분(sulfur, ASTM D4239-05), 발열량(caloric value, ASTM D2015), 회분석(ash analysis and tests, ASTM D3174-04) 및 회용점(ash fusion temperature, ASTM D1857-04)도 ASTM 규정에 따라 분석을 시행하였다.

2.3. 연탄 연소실험 및 연탄재 중금속 용출실험

가로 1.8 m, 세로 1.8 m, 높이 2.5 m 넓이의 밀폐된 공간에 화로를 설치하여 연소가스를 측정하였다. 측정 목적은 가스의 위험 정도를 파악하기 위한 것이 아닌 원탄과 슬러지함유 연탄과의 연소 가스 현황정도를 비교분석하기 위함이다.

유해가스 및 온도는 바닥에서 1.5 m 높이에서 측정하였으며 복합가스 측정기를 이용하여 연탄연소 가스성분을 측정하였다.

GASTECK 검지관을 직독식 가스검정기에 연결 후

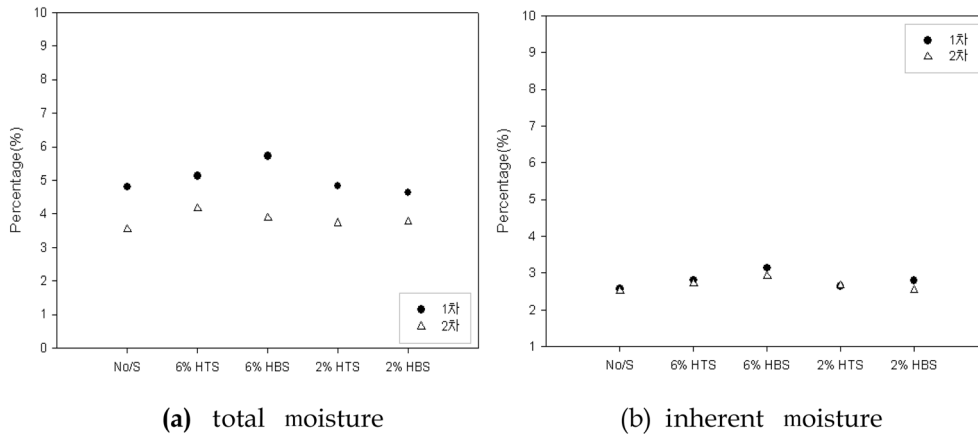


Fig. 2. Results of total moisture and inherent moisture for original and sludge-contained briquettes (unit : %).

Table 2. Conditions of the inside and outside experimental room

Conditions	Out-side	In-side
Temp (°C)	-8 ~ -10	8.1 ~ 12.5
Humidity (%)	30.0	38.5 ~ 42.2
Air Current (m/s)	1.5 ~ 2	0.09 ~ 0.1

CO₂, SO₂, CO 등을 1 hr, 2 hr, 3 hr, 4 hr 시간대별로 측정하였다. 연탄연소실험의 기준은 광산보안법, 산업안전보건법 및 노동부고시 제88-69호(유해물질의 허용농도)를 적용하였으며 연탄연소 전·후 연탄재의 실험방법은 전함량 분석의 토양오염공정시험법을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원탄 및 슬러지가 첨가된 연탄의 공업 및 원소분석결과

수분측정결과 원탄은 3.54~4.81%, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 3.88~5.72%, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 4.17~5.13%의 결과가 나왔으며, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 3.77~4.64%, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 3.73~5.72%로 비슷한 경향을 보이고 있다.

그러나 두차례 걸친 수분 결과 1차에 비해 2차 결과가 전반적으로 1% 내외의 수분 차이로 낮은 결과값을 보이며, 그 원인은 슬러지 내에 포함되어 있는 자연 건조 이후의 수분함량의 영향과 1차, 2차 제조 후의 외부 수분 차이라고 사료된다. 연탄의 내수분 분석결과, 원탄은 2.51~2.57%, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 2.92~3.14%, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 2.71~2.81%의 결과가 나왔고, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 2.54~2.80%, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 2.64~2.66% 결과로 원탄과 슬러지

함유된 연탄과의 비교에서 비슷한 결과임을 알 수 있다.

공업회분 분석결과, 원탄은 38.13~40.76%이며, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 40.55~40.67%, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 41.04~41.55%, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 39.97~40.97%, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 40.22~40.55%로 원탄과의 비교에서 전체적으로 큰 차이가 없어 회분의 양이 급격히 증가되지 않는다는 것을 알 수 있다. 휘발분 분석결과, 원탄은 4.41~4.56%이며, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 4.69~4.73%, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 5.61~5.74%의 결과가 도출되었다. 2% 함백슬러지 함유 연탄은 4.75~4.88%, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 4.91~4.94%로 휘발분의 경우 원탄과 거의 같은 결과값을 알 수 있다

고정탄소함량의 분석결과, 원탄은 52.26~54.8%이며, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 51.58~51.72%, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 50.0~50.54%의 결과가 도출되었고, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 51.61~52.48%, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 51.90~52.28%로 고정탄소 성분도 약간의 차이는 보이고 있지만 다른 성분과 비슷한 경향을 보여주고 있다. 총유황 함량의 분석결과, 원탄은 0.52~0.53%이며, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 0.53~0.54%, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 0.46~0.56%의 결과가 도출되었고, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 0.54~0.56%, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 0.53%의 같은 결과임을 알 수 있었다.

원소분석의 탄소에 대한 실험결과, 원탄은 56.01~58.26%, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 55.64~55.97%, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 55.43~55.70%, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 55.71~56.97%, 2% 함태슬러지 함유

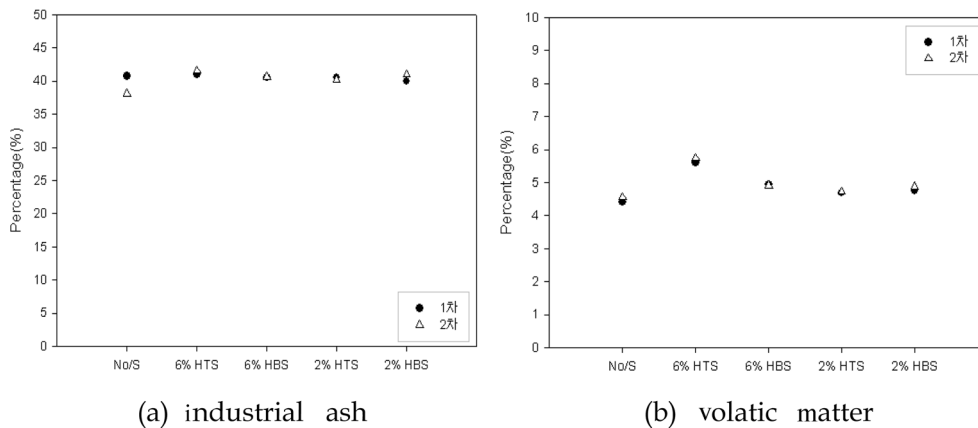


Fig. 3. Results of industrial ash and volatic matter for original and sludge-contained briquettes (unit : %).

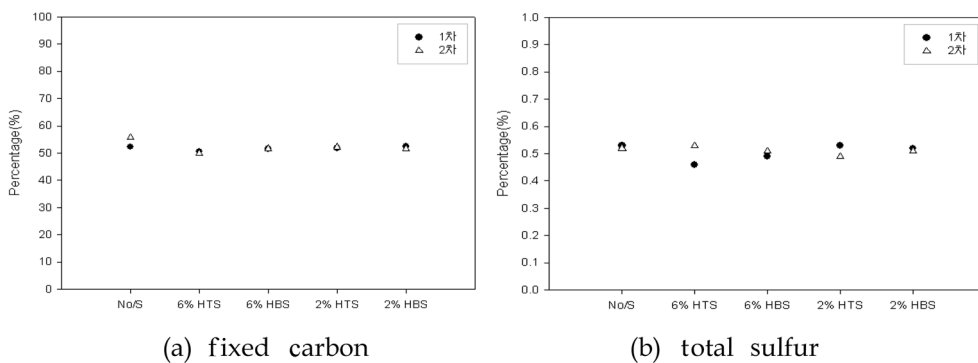


Fig. 4. Results of fixed carbon and total sulfur for original and sludge-contained briquettes (unit : %).

연탄은 56.38~56.39%의 분석결과가 나왔다. 원탄과 슬러지 함유 분석 결과를 비교하여도 탄소 함량비에서는 비슷한 경향의 결과를 볼 수 있다. 수소에 대한 분석결과, 원탄의 수소함량은 0.62~0.75%, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 0.61~0.67%, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 0.55~0.69%, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 0.56~0.67%, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 0.57~0.67%의 결과로 수소함량 또한 원탄과 비교하였을 때 비슷한 결과를 나타내고 있다. 질소함량에 대한 분석결과, 원탄과 6% 함백슬러지 함유 연탄은 0.75~0.76%로 동일한 결과치를 나타내고 있고, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 0.67~0.74%, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 0.69~0.75%, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 0.71~0.72%의 함량이 검출되었다. 산소의 함량을 원탄과 비교 할 때, 원탄분석은 0.24%~0.27%의 결과값을 나타냈고, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 0.26~0.31%, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 0.25~0.28%, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 0.26~0.27%, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 0.26~

0.28%의 결과로 원탄과 비교하였을 때 비슷한 결과를 나타냈다.

연소성 유향에 대한 분석결과, 원탄은 0.53~0.54%, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 0.55~0.56%, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 0.42~0.48%, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 0.40~0.43%, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 0.37~0.41%의 결과로 비슷한 경향을 나타내고 있다.

고위발열량은 연료의 완전연소에 의하여 발생하는 수증기의 잠열을 포함한 모든 열량으로써 원탄의 발열량은 4,250~4,360 kcal/kg, 6% 함백슬러지 함유 연탄은 4,240~4,250 kcal/kg, 6% 함태슬러지 함유 연탄은 4,180~4,210 kcal/kg, 2% 함백슬러지 함유 연탄은 4,270~4,360 kcal/kg, 2% 함태슬러지 함유 연탄은 두차례 모두 4,340 kcal/kg의 결과로 원탄과의 비슷한 발열량을 나타내고 있다. 회용점 항목에 대한 분석결과, 원탄의 회용점 분석결과 원탄과 6%슬러지의 함백, 2% 슬러지의 함백과 함태는 1,550°C 이상의 결과치가 나왔고, 6%슬러지 함유 함

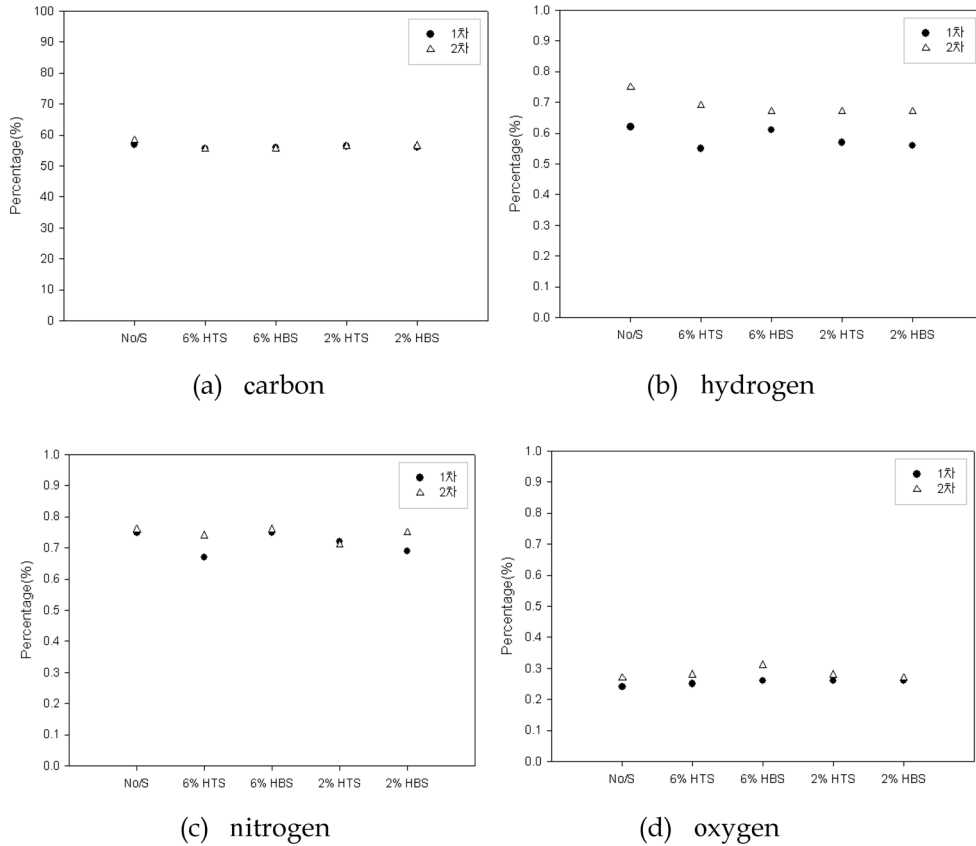


Fig. 5. Results of carbon, hydrogen, nitrogen and oxygen for original and sludge-contained briquettes (unti : %).

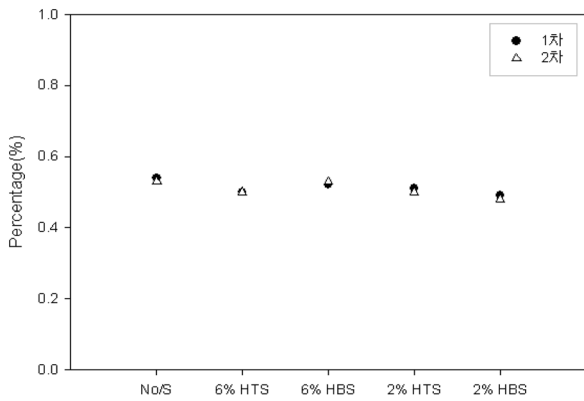


Fig. 6. Results of combustible sulfur sludge-contained briquette (unti : %).

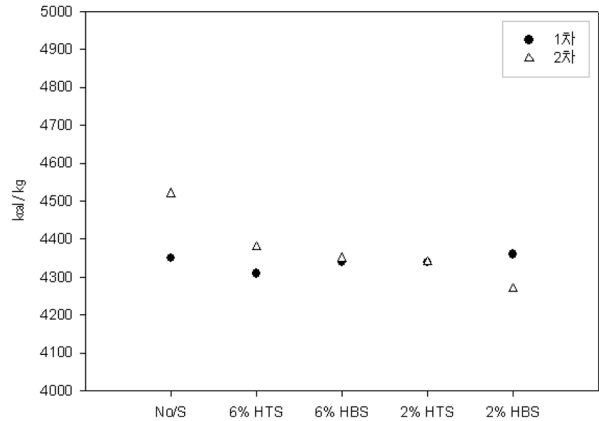


Fig. 7. Results of calorific value for original and sludge-contained briquettes (unti : %).

태광산의 환원성에서만 변형점에서 1,510°C, 1,530°C의 회용점 결과를 얻었다.

3.2. 연탄 연소실험 결과

연탄내에 슬러지가 첨가물로 사용되어도 연탄의 기능에는 별 차이가 없다는 것을 증명하고자 1 hr, 2 hr, 3 hr, 4

hr 시간별로 온도의 변화, CO, CO₂, SO₂의 변화량을 측정된 결과는 다음과 같다.

시간대별 온도변화를 측정 분석한 결과, 원탄은 연소 시작 후 3 h일 때 864°C로 가장 높은 온도(°C)가 측정되었고, 6% 함태 및 2% 함백 슬러지가 함유된 연탄 연소에서 3 hr 일 때 802~774°C로 가장 높은 온도(°C)가 측정

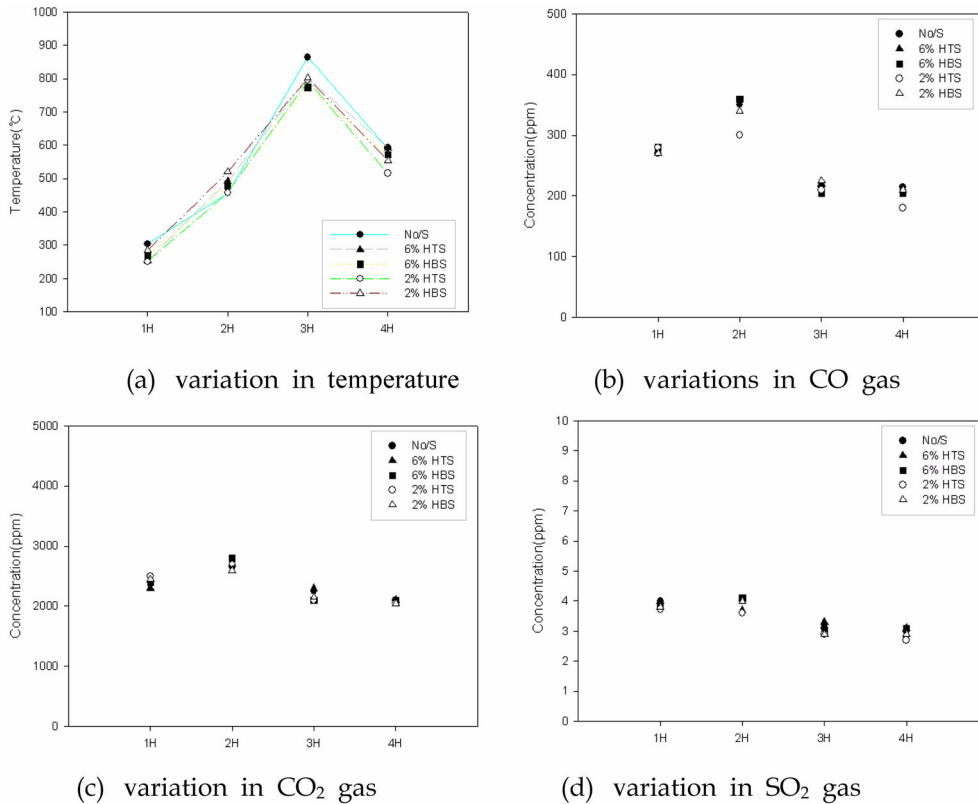


Fig. 8. Variations of temperature, CO, CO₂ and SO₂ as a function of time zone during combustion.

되었다. 일산화탄소(CO)는 6% 함백슬러지가 함유된 연탄의 경우 연소 2 hr에서 가장 높은 360 ppm이 측정되었고, 2% 함태슬러지가 함유된 연탄의 경우 연소 4 hr에서 가장 낮은 180 ppm이 검출 되었다. 전체적인 측정 결과를 비교하였을 시 연소 시점부터 2 hr 경과시간 일 때 모든 연탄 시료에서 일산화탄소(CO)농도치가 전반적으로 높은 것으로 검출 되었다.

이산화탄소(CO₂)의 원탄과 슬러지 함유 연탄시료 모두 2 hr에서 가장 높은 이산화탄소(CO₂)가 측정되었고, 그 중 6% 함백슬러지가 함유된 연탄의 경우에서 2,800 ppm으로 가장 높은 농도가 측정되었다. 연소가 거의 끝나는 시점인 4 hr에서 2% 함태와 2% 함백슬러지가 함유된 연탄의 경우에서 이산화탄소(CO₂)가 가장 낮은 2,050 ppm이 측정 되었다. 전체적인 측정 결과를 비교하였을 시 연소 시점부터 연소 시간이 경과할 때마다 측정값은 낮은 경향을 보였다. 원탄과 슬러지 함유연탄시료의 모든 시간대별 평균 측정치는 약 2,340 ppm으로 최고 농도값과는 약 1.2 배 정도 차이가 난다. 이는 밀폐된 공간 조건을 고려하여 측정한 분석 결과로 전체적인 농도 경향은 연탄과 슬러지 함유 연탄시료 오차 범위는 ±10~15% 정도로 크지 않음을

알 수 있다. 이산화황(SO₂) 측정 분석한 결과 1 hr~2 hr 사이에 가장 높은 이산화황(SO₂)이 측정되었다. 그 중 가장 높은 이산화황(SO₂) 측정 시간대는 2 hr에서 원탄과 6% 함백슬러지가 함유된 연탄에서 4.1 ppm, 2% 함태슬러지가 함유된 연탄의 경우에서 4 hr에서 가장 낮은 2.7 ppm이 측정되었다. 전체적인 측정 결과를 비교하였을 시, 연소가 시작 되자마자 농도치가 높게 나왔으며 연소가 끝나는 시점보다 앞서 농도가 낮아지는 경향을 보였다. 원탄과 슬러지 함유연탄시료의 모든 시간대별 평균 측정치는 약 3.44 ppm으로 최고 농도치와는 약 1.1배 정도 차이가 난다.

3.3 연탄 연소 전 · 후 연탄재 전 함량 결과

원탄 및 슬러지함유 연탄 연소 전 · 후 토양공정시험법에 의해 납(Pb), 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 비소(As), 니켈(Ni) 및 아연(Zn) 등 6항목에 대해 분석한 결과는 연탄연소 전과 연소 후의 각 시료별 농도 변화는 크지 않은 것으로 확인되었다. 이는 고온의 연탄연소과정에서 슬러지 및 원탄내의 중금속이 유리화 과정과 같은 물성변화가 일어난 것으로 판단된다.

납(Pb) 항목에 분석결과를 대한 시료별 농도를 비교하

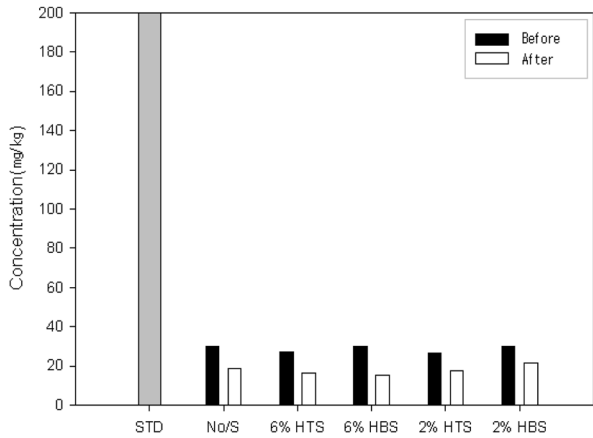


Fig. 9. Concentration of lead for the before-and-after combustion of the experimental briquette.

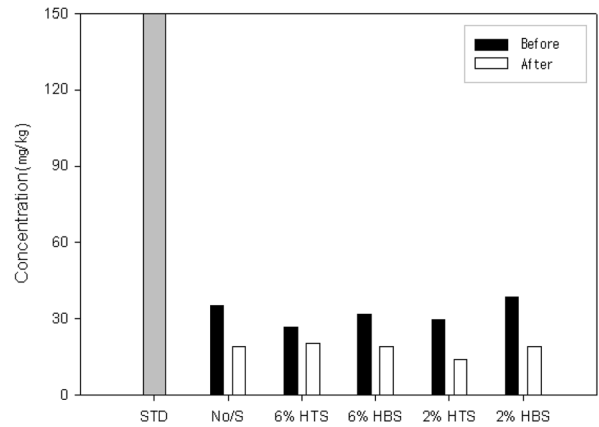


Fig. 11. Concentration of copper for the before-and-after combustion of the experimental briquette.

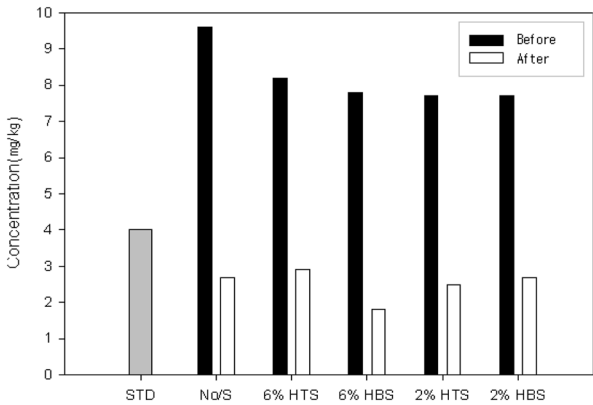


Fig. 10. Concentration of cadmium for the before-and-after combustion of briquette.

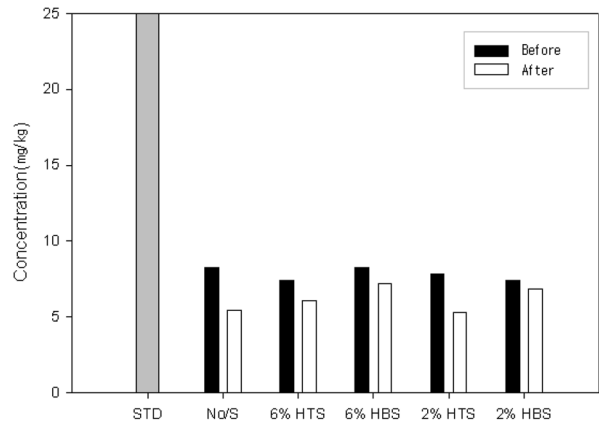


Fig. 12. Concentration of arsenic (As) for the before-and-after combustion of briquette.

면 전반적으로 연소 전 납(Pb) 농도가 연소 후 납(Pb) 농도보다 높았으며, 시료별 농도 비교 결과 연소 전 6% 함백슬러지가 함유된 연탄이 30.01 mg/kg으로 가장 농도가 높고, 2% 함태슬러지가 함유된 연탄에서 26.40 mg/kg으로 가장 낮은 농도를 보였다. 연소 후에는 2% 함태슬러지가 함유된 연탄이 21.42 mg/kg으로 가장 농도가 높았으며 6% 함백슬러지가 함유된 연탄에서 15.31 mg/kg으로 가장 낮은 농도를 보였다. 이를 분석오차를 고려하였을 시, 연소 전 과 연소 후의 각 시료별 농도 변화는 크지 않은 것으로 사료된다. 원탄과 슬러지 함유 연탄의 연소 전·후 중금속 용출실험 결과 모두 기준치 이내의 결과 값이 도출되었다.

카드뮴(Cd)항목에 분석결과는 Fig. 10과 같이 전반적으로 연소 전 납 농도가 연소 후 납(Pb) 농도보다 높았으며, 시료별 농도 비교 결과 연소 전 원탄이 9.6 mg/kg으로

로 가장 농도가 높고, 2% 함태 및 함백 슬러지가 함유된 연탄에서 7.7 mg/kg으로 가장 낮은 농도를 보였다. 연소 후에는 6% 함태 2.9 mg/kg으로 가장 농도가 높았으며, 6% 함백슬러지가 함유된 연탄이 1.8 mg/kg 가장 낮은 농도를 보였다. 평균 농도는 연소 전 8.2 mg/kg, 연소 후 2.5 mg/kg로 카드뮴(Cd)의 농도가 감소하는 것을 볼 수 있다.

구리(Cu)항목에 분석결과는 Fig. 11과 같이 전반적으로 연소 전 구리(Cu) 농도가 연소 후 구리(Cu) 농도보다 높았으며, 시료별 농도 비교 결과 연소 전 원탄이 35.42 mg/kg으로 가장 농도가 높고, 6% 함태슬러지가 함유된 연탄이 26.87 mg/kg으로 가장 낮은 농도를 보였다. 연소 후에는 6% 함태슬러지가 함유된 연탄에서 20.60 mg/kg으로 가장 농도가 높았으며 2% 함태슬러지가 함유된 연탄이 14.29 mg/kg으로 가장 낮은 농도를 보였다.

비소(As) 항목에 분석결과, 전체적으로 연소 전 비소

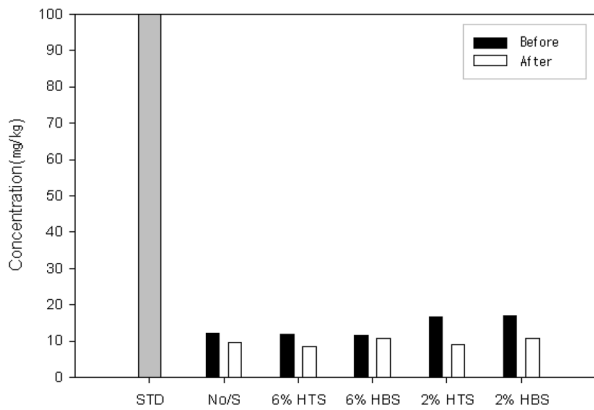


Fig. 13. Concentration of nickel for the before-and-after combustion of briquette.

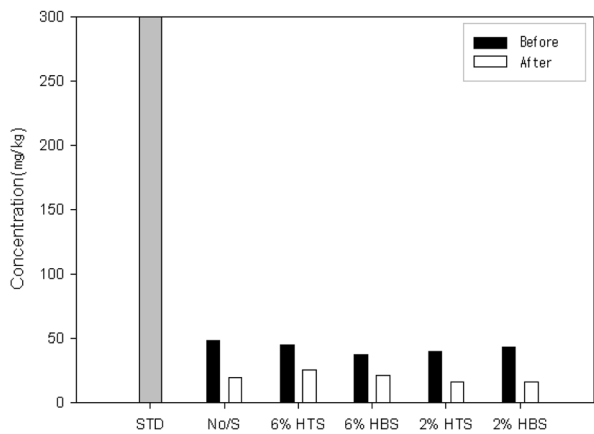


Fig. 14. Concentration of zinc for the before-and-After combustion of the experimental briquette.

(As) 농도가 연소 후 비소(As) 농도보다 높았으며, 시료별 농도 비교 결과 연소 전 6% 함백슬러지가 함유된 연탄에서 8.26 mg/kg으로 가장 농도가 높고, 2% 함백슬러지가 함유된 연탄이 7.42 mg/kg으로 가장 낮은 농도를 보였다. 연소 후는 6% 함백슬러지가 함유된 연탄의 경우, 7.24 mg/kg으로 가장 농도가 높았으며 원탄이 5.42 mg/kg으로 가장 낮은 농도를 보였다.

니켈(Ni)항목에 분석결과는 Fig. 13과 같이 전반적으로 연소 전 니켈(Ni) 농도가 연소 후 니켈(Ni) 농도보다 높았으며, 시료별 농도 비교 결과 연소 전 2% 함백슬러지가 함유된 연탄이 17.13 mg/kg으로 가장 농도가 높고, 6% 함백슬러지가 함유된 연탄에서 11.66 mg/kg으로 가장 낮은 농도를 보였다. 연소 후는 2% 함백슬러지가 함유된 연탄이 10.82 mg/kg으로 가장 농도가 높았으며 6% 함백슬러지가 함유된 연탄에서 8.56 mg/kg으로 가장 낮은 농

도를 보였다.

마지막으로 아연(Zn)항목에 분석결과는 Fig. 14와 같이 전체적으로 연소 전 구리(Cu) 농도가 연소 후 구리(Cu) 농도보다 높았으며, 시료별 농도 비교 결과 연소 전 원탄이 48.74 mg/kg으로 가장 농도가 높고, 6% 함백슬러지가 함유된 연탄에서 37.57 mg/kg으로 가장 낮은 농도를 보였다. 연소 후는 6% 함백슬러지가 함유된 연탄이 25.42 mg/kg으로 가장 농도가 높았으며 2% 함백슬러지가 함유된 연탄에서 16.29 mg/kg으로 가장 낮은 농도를 보였다.

4. 결 론

함백 및 함태광산 슬러지를 연탄 부원료재로서의 재활용성을 조사하기 위해 원탄과 슬러지함유 연탄에 대한 기본적인 공업·원소분석을 수행하였다. 수분 등 공업분석 결과 및 발열량 등 원소분석 결과 모두 원탄과 오차 한계 내에서 거의 유사한 결과값을 확인하였다. 이는 전체적인 관점에서 볼 때 슬러지가 연탄의 기본적인 특성에 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있었다. 또한 온도변화, 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 이산화황(SO₂) 등 4항목에 대한 연탄연소실험을 한 결과는 다음과 같다. 시간대별 온도변화는 원탄 및 슬러지함유 연탄 모두 3 hr 일 때 가장 높은 온도(774~864°C)가 측정되었으며, 일산화탄소(CO), 등 3개 항목의 경우 2 hr에서 모두 가장 높은 농도가 측정되었다. 뿐만 아니라, 원탄 및 슬러지함유 연탄 연소 전·후 연탄재에 대한 납(Pb) 등 중금속항목에 대한 전 함량실험결과는 전반적으로 연소 전의 중금속농도가 연소 후의 중금속 농도보다 높게 검출되었다. 즉 카드뮴(Cd) 항목의 경우는 연소 전과 연소 후를 비교 시 중금속의 함량에 대해 저감효과를 확인하였으며, 비소(As) 항목의 경우 연소 전과 연소 후를 비교 시 12.4%의 가장 낮은 저감효과를 확인하였다. 이는 일부 중금속이 연탄 연소과정에서 물리적인 변형에 의한 유리화 과정 등 고형화·안정화로 인해 중금속 용출이 되지 않는 것으로 사료된다. 따라서 석탄광산 배수 처리과정에서 발생한 슬러지를 연탄의 부 원료재인 첨가재로서 사용함에 따라 슬러지를 친환경적으로 처리 할 수 있고 연탄의 품질에도 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

김형택, 손영권 등 1992, 연탄제조시 수입무연탄 혼합사용에 따른 연탄회재강도 개선연구(III), 한국에너지기술연구소.

박원훈, 1981, 수입무연탄 혼합율 제고에 관한 연구보고서, 한국 과학기술원.

박동진, 1981, 수입무연탄 혼합율 제고에 관한 연구보고서, 대한 석탄공사 기술연구소.

박주식, 1991, 국내 무연탄회의 화학조성과 용융온도와의 상관상, 석사논문, 충남대학교.

박원훈, 1985, 석탄의 혼합사용문제 연구보고서, KRC-84C-J06, 한국전력공사기술연구원보고서.

석탄산업합리화사업단, 1997, 廢炭鑛廢水의 自然淨化式 處理의 效率增進과 性能向上을 위한 研究(단행본).

정명채, 2003, 영월, 정선 및 평창지역 폐 석탄광 산성광산배수의 환경오염 평가, 자원환경지질, 36(2), 111-121.

이춘택, 1983, 석탄광의 산성폐수와 중금속유해성에 관한 기본적인 조사연구, 대한광산학회지, 20(4), 222-232.

유재영, 1996, Precipitation of Fe and Al Compounds from the Acid Mine Waters in the Dogyae Area, Korea : A Qualitative Measure of Equilibrium Modeling Applicability and Neutralization Capacity, 자원개발연구, 12, 77-101.

허봉, 유재영, 1998, 강원도 강릉시 강동면에 분포하는 폐탄광으로부터의 배수에 의한 임곡천 및 동해의 오염, 환경연구, 15, 386-397.

황선국, 1983, 저질탄 활용연구보고서, 한국동력자원연구소.

한동진, 1982, 무연탄 연소에 미치는 각 첨가물의 영향(I) 및 이산화황 기체 발생에 미치는 영향, 화학과 공업의 진보, 22(3), 165-173.