

清淨石炭 利用을 위한 靜電選別 技術開發[†]

白尙昊 · *全好錫 · 韓五炯*

韓國地質資源研究院 資源活用素材硏究部, *朝鮮大學校 資源工學科

Development of New Techniques of Electrostatic Separation for Using of Clean Coal[†]

Sang Ho Baek, *Ho Seok Jeon and Oh Hyung Han*

Mineral & Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

*Department of Resource Engineering, Chosun University

요 약

국내 경제성장과 더불어 발전소 에너지원으로 이용되고 있는 석탄은 매년 증가하여 2006년에는 전체 에너지 구성의 30%인 16,000 MW에 이를 것으로 예측되고 있다. 이러한 석탄은 다른 화석연료에 비해 매장량이 풍부하고 경제성은 높지만, 사용이 불편하고 석탄회, 아황산가스 등 많은 공해물질을 배출하고 있다. 따라서 본 연구에서는 마찰하전형정전선별법을 이용하여 석탄과 회분구성 광물의 선별기술을 확립, 청정석탄을 생산하고자 한다. 본 연구에서는 bench-scale의 마찰하전형정전선별 장치를 제작하였으며, 선별에 영향을 미치는 인자들을 선정하고 분리실험을 수행하여 최적조건을 확립하였다. 연구결과 최적조건에서 석탄 회수율과 회분 및 황분 제거율이 각각 68.10%, 31.23% 그리고 28.33%인 정제석탄을 얻을 수 있었다.

주제어 : 마찰하전형정전선별, 청정석탄, Work Function

Abstract

In 2006, the coal usage that is used as energy source of power plant will meet 16,000 MW which is 30% of the whole energy usage. A Coal deposits among the fossil fuels is very plentiful in natural resources and has high economical efficiency but application technique is very inconvenient. Also when burned for utilization, it generate various toxic and un toxic air pollution materials; fly ash, bottom ash, sulfurous acid gas etc. In this study, we could establish a preparation of clean coal by triboelectrostatic separation. In this study, we made a bench-scale's triboelectrostatic separation equipment using electrostatic technology, and got an optimum conditions of various factors for increasing recovery rate and purification in separation. A test result, we got a clean coal that recovery rate is 68.10%, rejection rate of ash and sulfur content is 31.23% and 28.33%.

Key words : Triboelectrostatic separation, Clean Coal, Work Function

1. 서 론

석탄은 공급의 안정성에서 뿐만 아니라 중장기적으로 경제성이 우수한 에너지원으로, 현재의 수요 증가를 고려하더라도 확인된 매장량만으로 앞으로 약 300년 이상 사용 가능한 자원이다. 또한 세계 1차 에너지 공급

의 30%를 점하고 있어서 국내외적으로 상당히 중요한 위치를 차지하고 있다.¹⁾

석탄은 우리나라가 보유하고 있는 유일한 화석 에너지로써 지금과 같은 고유가 시대에, 수입하는 에너지의 일부를 대체할 수 있는 유일한 대안이다. 특히, 석탄은 가스나 석유와 같은 화석에너지에 비해 매장량이 풍부하여 차후 발생할지도 모를 에너지 자원의 전략적 사용을 방지할 수 있는 에너지이다.²⁾ 그러나 석탄이 아무리

[†] 2005년 6월 30일 접수, 2005년 9월 26일 수리

* E-mail: hsjeon@kigam.re.kr

경제성이 높고 풍부한 매장량을 갖고 있는 에너지라 할 지라도 장기적인 에너지 수급을 위해서는 연소 시 혹은 연소 후 발생하는 대기오염 및 석탄회의 근원 물질을 사전에 제거해야 하는 기술개발이 뒤따라야 할 것으로 생각되며, 이 문제를 해결하기 위해 선진 각국에서는 청정석탄이용기술(Clean Coal Technology, CCT) 개발에 관한 연구가 활발히 진행 되어왔다.^{3,4)}

석탄의 연소 시 발생하는 석탄회와 아황산가스 등은 전기집진이나 탈황시설이 발전소에 설치되면 큰 문제가 없으나, 이들의 설치 및 운영비용이 높아 소규모 발전이나, 시멘트산업, 제철소 그리고 열 병합발전소 등에는 설치하지 않고 그대로 대기 중에 방출하고 있는 실정이다. 따라서 국내외적으로 강화되고 있는 환경문제에 대처하기 위해서라도 clean coal 생산기술 개발이 시급하며, 특히 우리나라와 같이 에너지를 많이 사용하는 산업국일수록 석탄과 같이 경제성이 있는 에너지를 활용할 수 있는 기술개발이 절실하다.²⁾

석탄으로부터 회분구성 광물을 제거하기 위한 연구는 오래 전부터 체계적으로 이루어져 왔으나 아직까지 경제성을 갖춘 완벽한 기술개발이 이루어지지 않아 여전히 해결해야 할 숙제로 남아 있다. 석탄의 경우 가격이 저렴한 에너지 광물이기 때문에 가능한 처리비용이 저렴한 건식 처리기술 개발이 필요하다. 습식법의 경우 높은 처리비용 이외에도 2차 오염물질이 발생 될 수 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 고가의 탈황시설을 하지 않고 일부 환경문제를 해결하며 저가의 에너지원을 확보하기 위해, 석탄회 처리과정에서 성공한 바 있는 정전선별기술을 토대로 건식법에 의해 석탄 이외의 맥석광물을 제거하는 청정석탄 생산기술을 개발하고자 하는데 그 목적이 있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 청정석탄연료 생산기술은 최근 혼합물질 분리를 위해 많은 연구가 이루어지고 있는 선별기술로, 석탄과 회분구성 광물의 물질특성인 work function 차이를 이용하여 각각 입자의 표면을 다른 극성으로 하전 시켜 높은 전기장에서 분리하는 마찰하전형정전선별 기술이다.¹⁾

2. 이론적 배경

마찰하전형정전선별의 원리는 혼합 물질의 work function 값의 차이를 이용하는 것이다. 즉, 서로 다른 재질의 입자가 충돌을 하거나 다른 제 3의 재질에 충돌하게 되면, Fig. 1에서와 같이 work function 값이 작은 입자

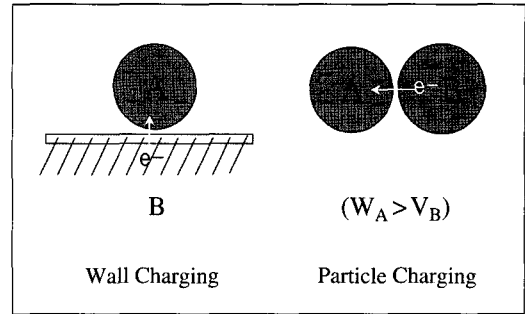


Fig. 1. Charging principle of two particles by collision.

Table 1. Work function of metal and compounds⁷⁾

Metals	Work Function(eV)	Compounds	Work Function(eV)
Pt	5.3	TiO ₂	6.0
Ni	5.0	SiO ₂	5.0
C	4.8	Al ₂ O ₃	4.7
Fe	4.7	MoO ₃	4.3
Cu	4.5	Carbon	4.0
Zn	4.3	FeO	3.9
Al	4.1	ZrO	2.0
Si	3.6	SrO	1.3
Cs	1.0	CaO ₃	1.0~1.2

는 전자를 잃어 positive(+)로 하전을 띄게 되고 이와 반대로 work function 값이 큰 입자는 전자를 얻어 negative(-)로 하전이 이루어지게 된다. 이렇게 각각 반대로 하전이 이루어진 입자들을 높은 전류가 흐르는 전기장 내로 통과시키면 positive(+)로 하전된 입자는 negative 전류가 흐르는 전극으로 이동하게 되고, 이와 반대로 negative(-)로 하전된 입자는 positive 전류가 흐르는 전극으로 이동되어 각각 분리가 이루어지게 되는 것이다.^{5,6)}

마찰하전형정전선별에서 선별효율을 높이기 위해서는 선별 대상 물질의 하전량을 높게 해야 되는데, 이를 위해서는 마찰입자 간의 work function 차이를 크게 해야 한다. 이를 위해서는 우선 각 물질이 가지고 있는 work function 값의 규명이 선행되어야 한다. 또한 물질의 분리효율을 높이려면 work function 값이 혼합물질의 중간인 재질을 하전물질로 선정하는 것이 가장 효과적일 것이다. Table 1은 여러 가지 물질들의 work function 값을 나타낸 것이다.⁷⁾

Fig. 2는 마찰하전형정전선별에서 하전 된 입자의 전

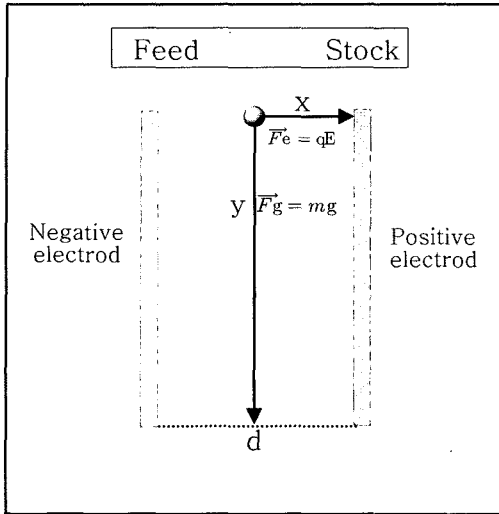


Fig. 2. Schematic diagram of particle movement electric field.

기장 내에서의 운동을 나타낸 것으로, 분리메커니즘에 의한 유도식은 다음과 같다. 하전장치에 의해 대전된 하전량 q 와 질량 m 을 가진 입자가 거리 d 인 수직형전극판 사이를 통과할 때 하전입자에 대해 수평방향 힘인 정전기력과 수직방향 힘인 중력이 작용하게 된다. 뉴턴의 운동 제 2법칙에 의한 합력은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, 입자의 속도에 대한 방향성분을 식(2)와 같이 표현하고 방향성분 i 와 j 에 관해 변수분리를 하면 식 (3), (4)를 구할 수 있다. 여기서 식 (3), (4)를 거리와 시간에 대해 중적분하여 정리하면 식(5), (6)을 구할 수 있다. 식(5)에서 수직이동거리(H)에 대한 시간(t)을 구할 수 있으며, 식(6)에서 하전된 입자가 거리 x 만큼 정전기적 편향을 할 수 있는 전극의 전압을 구할 수 있다.⁸⁾

$$\vec{F} = ma = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_e + \vec{F}_g \quad (1)$$

$$\vec{V} = V_x \hat{i} + V_y \hat{j} \quad (2)$$

$$m \left(\frac{dV_x \hat{i}}{dt} + \frac{dV_y \hat{j}}{dt} \right) = qE \hat{i} + mg \hat{j}$$

$$\frac{dV_x}{dt} = g \dots\dots(3), \quad \frac{dV_y}{dt} = \frac{qE}{m} \dots\dots(4)$$

$$\int \left(\frac{dV_y}{dt} = g \right) \\ y = y_0 + V_{y0}t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (y_0=0, y=H) \quad H = V_{y0}t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (5)$$

$$\int \left(\frac{dV_x}{dt} = \frac{qE}{m} \right) \quad (t: 0 \rightarrow t, V: V_{x0} \rightarrow V_x)$$

$$x = x_0 + V_{x0}t + \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2$$

$$x = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 \quad \left(E = \frac{V_{volt}}{d}, x = \frac{d}{2} \right)$$

$$V_{(volt)} = \frac{md^2}{qt^2} \quad (6)$$

3. 시료 및 실험방법

3.1. 시료의 특성

본 연구에 사용된 시료는 하동 화력발전소에서 채취한 석탄시료이다. 그리고 탄종에 따른 영향을 관찰하기 위하여 미국 Virginia State의 Grenyn Power Plant에서 채취한 mill reject 산물을 사용하였다. Table 2는 하동발전소에서 채취한 유연탄 시료와 Grenyn 화력발전소에서 채취한 mill reject 산물의 공업분석 결과를 나타낸 것이다. 본 연구를 위해 하동 화력발전소에서 채취한 유연탄의 경우, 회분함량이 많은 저품위탄을 선택적으로 채취하였기 때문에 발전소에서 사용하는 원탄보다 10%가량 회분함량이 높은 25.01%이며, Grenyn 화력발전소에서 채취한 mill reject 산물은 경도가 높아 분쇄공정에서 굵은 입도로 남은 산물이기 때문에, 회분과 유황분 함량이 각각 43.17%와 4.85%로 매우 높아 선별과정 없이는 사용이 어려운 저급탄이다.

Table 2. Proximate analysis on coal samples prepared from Ha-Dong & Grenyn power plant.

Samples	Proximate Analysis (%)				Sulfur (%)
	Ash	V.M.	Moisture	F.C.	
Ha-Dong	25.01	29.16	1.82	44.01	0.6
Grenyn (U.S.A.)	43.17	20.15	0.70	35.98	4.85

3.2. 실험방법

Fig. 3은 본 연구에 사용된 마찰하전형정전선별기의 개략도를 나타낸 것이다. 실험은 선별장치 아래 부분의 급광부에 시료를 일정 양씩 투입하면, 시료는 공기의 흐름에 의해 하전장치인 직경 3cm의 pipe속으로 이동하여 높은 전류가 흐르는 전극으로 이동하게 된다. 이때 work function 값이 작은 석탄은 회분구성 광물이나 하전물질보다 work function 값이 작으므로 전자를 잃게 되어

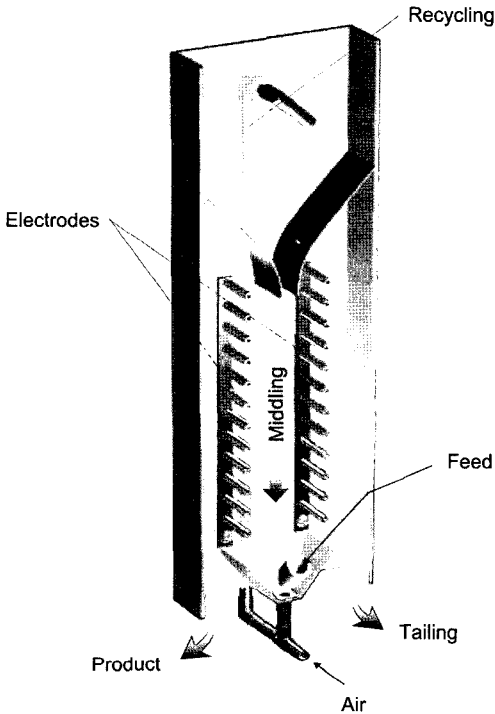


Fig. 3. Schematic representation of a bench scale TES unit employed in the present work.

양으로 하전되고 work function 값이 큰 회분구성 광물들은 전자를 얻음으로 음으로 하전되어, 높은 전류가 흐르는 전기장을 통과하면서 전기적 인력에 의해 분리가 이루어지게 된다. 이 때 입자와 하전장치인 pipe와의 충돌을 강하게 일으켜 하전효율을 높일 수 있도록 pipe가 수직으로 꺾이는 지점을 3곳이나 설치하였다. 또한 하전효율이 낮아 분리가 이루어지지 않은 중광물은 재순환하여 하전량을 증가시켜 분리되도록 하였다. 그리고 본 연구에 사용된 하전장치인 pipe의 재질로는 copper를 사용하였는데 그 이유는, copper 재질의 work function 값이 석탄과 회분구성 광물의 중간 값이기 때문이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 전극 종류의 영향

Fig. 4는 전극의 형태가 회분제거율에 미치는 영향을 관찰하기 위하여, 본 연구에서 개발된 5종류의 전극을 사용한 결과를 나타낸 것이다. 본 연구에서 개발한 전극은 전류가 가장 잘 전달되는 구리재질을 이용하여 수평타입, 수직타입, 평판타입, 드럼타입 그리고 스크린타입

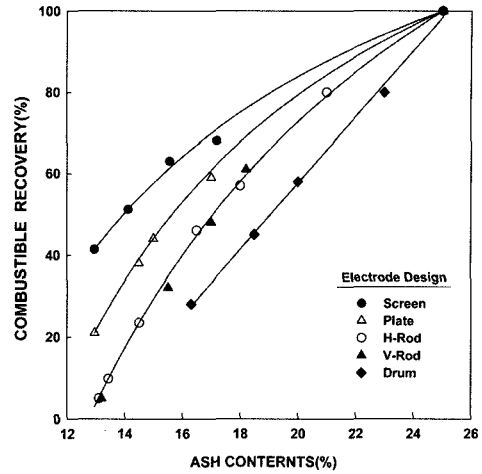


Fig. 4. Comparison of separation efficiency by various electrode in triboelectrostatic separation.

이 제작되었다. 이들 전극을 이용하여 석탄과 회분구성 광물을 분리하기 위한 마찰하전형정전선별 실험결과, 동일한 실험조건에서 스크린타입의 전극이 선별효율이 가장 높고 드럼타입의 전극이 선별효율이 가장 낮은 것을 알 수 있다. 즉 회분 함량이 동일한 16%일 때 드럼타입 전극은 석탄 회수율이 25%이지만, 스크린타입은 62%로 높아 전극의 종류에 따라 선별효율이 크게 다른 것을 알 수 있다.

이와 같이 전극의 형태 중 스크린타입에서 선별효율이 가장 높은 이유는, 다른 전극에 비해 구배력이 높은 전기장을 형성하였기 때문이며, 나머지 전극의 경우 모서리나 끝 부분은 전기밀도가 높지만 전극의 중앙부분은 전기밀도가 낮아 선별에 효과적인 전기장을 형성하지 못하기 때문으로 생각된다.

4.2. 입자크기의 영향

Fig. 5는 시료의 입자 크기가 마찰하전형정전선별 실험에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 입자 크기를 18 mesh에서 65 mesh까지 변화하며 실험한 결과이다. 실험결과 입자의 크기에 따른 석탄 회수율은 -18 mesh 입도와 -20 mesh 입도에서는 큰 차이가 없지만, -20 mesh 입도를 기점으로 이보다 작아지면 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 -20 mesh 입도에서 석탄 회수율이 68.10%이지만 이보다 입도가 작아지면 증가하여 가장 작은 입도 -65 mesh에서는 74.99%까지 증가한다. 그러나 회분 및 유황분 제거율은 -20 mesh 입도보다 크거나 작아지면 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 즉 -20 mesh 입도에서

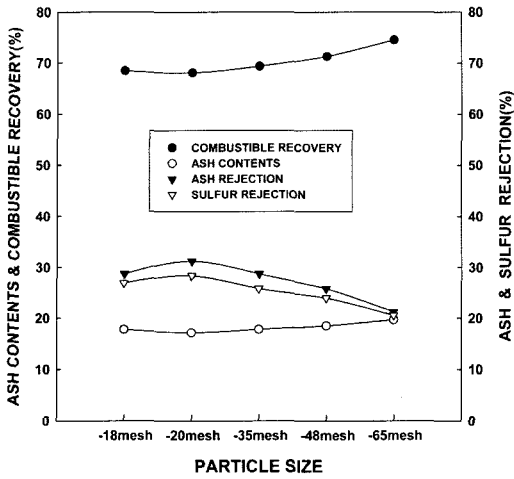


Fig. 5. The effect of particle size on combustible recovery and ash & sulfur rejection in bench scale triboelec-trostatic separation.

회분 및 유황분 제거율이 각각 31.23%와 28.33%로 가장 높지만, 이보다 입도가 작아지면 점차 감소되어 가장 작은 입도 -65 mesh에서는 회분 및 유황분 제거율이 각각 21.27%와 20.56%로 10%나 감소되어, -20 mesh보다 입도가 작아지면 선별효율이 감소되는 것을 알 수 있다. 그리고 -20 mesh 입도보다 큰 -18 mesh에서도 회분 및 유황분 제거율이 각각 28.69%와 26.91%로 -20 mesh 입도보다 약 3%정도 감소되어, 선별효율이 -20 mesh 입도에서 가장 높다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 입자의 크기가 작아질수록 미미하기는 하지만 석탄 회수율이 증가하는 이유는 하전이 잘 이루어지지 않은 석탄 입자들이 positive 전극으로 많이 이동되었기 때문이며, 입자의 크기가 작아질수록 회분 및 유황분 제거율이 감소되는 이유는 시료의 단체분리도는 향상되었으나, 선별효율에 나쁜 영향을 미치는 미립자의 발생이 증가되었기 때문으로 생각된다. 즉, 시료의 입자가 너무 작아지면 positive와 negative로 하전 된 입자들이 전기적 인력에 의해 서로 부착되기 때문이며, -20 mesh보다 큰 입도인 -18 mesh 입도에서 회분 및 유황분 제거율이 낮은 이유는 단체분리도가 낮기 때문으로 생각된다.

4.3. 공기속도의 영향

Fig. 6은 마찰하전형정전선별에서 시료를 전기장까지 수송하고 수송하는 과정에서 하전물질인 copper와 접촉하게 하여, 입자의 표면을 하전 시키는 매개체의 역할을 하는 공기의 속도가 선별효율에 미치는 영향을 나타

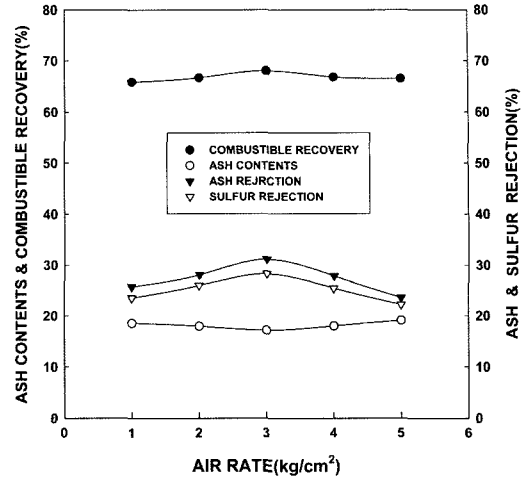


Fig. 6. The effect of air rate on combustible recovery and ash & sulfur rejection in bench scale triboelec-trostatic separation.

낸 것이다. 본 실험에서 공기의 속도는 1 kg/cm²에서 5 kg/cm²까지 변화하였으며, 실험결과 공기의 속도에 따라 석탄 회수율과 회분 및 유황분 제거율이 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 공기의 속도가 가장 작은 1 kg/cm²에서 석탄 회수율과 회분 및 유황분 제거율은 각각 65.84%와 25.74% 그리고 23.54%로 낮지만, 공기의 속도가 증가할수록 선별효율이 증가하여 공기의 속도가 3 kg/cm²에서는 석탄 회수율과 회분 및 유황분 제거율이 68.10%와 31.23% 그리고 28.33%로 가장 높다. 그러나 이보다 공기의 속도가 더 빨라지면 오히려 선별효율이 감소되어 공기의 속도 5 kg/cm²에서는 석탄 회수율과 회분 및 유황분 제거율이 각각 66.54%와 25.59% 그리고 22.23%로 감소하였다.

이와 같이 공기의 속도가 마찰하전형정전선별 실험에 영향을 미치는 이유는 입자의 하전량과 전기장 내에서 입자의 체류시간에 영향을 미치기 때문이다. 즉, 공기의 속도가 일정량까지 증가하면 입자간의 충돌과 마찰이 잘 이루어져 입자의 하전은 잘 이루어지나, 공기의 속도가 느리면 입자간의 충돌과 하전장치에 의한 충돌이 강하지 못해 입자의 표면하전이 효율적으로 이루어지지 못하기 때문이다. 그러나 공기의 속도가 적정량 보다 너무 빨라지면 선별효율이 감소하는데, 이와 같은 이유는 선별이 이루어지는 전기장 내에서 체류시간이 짧고 입자의 낙하속도를 증가시켜 전기적으로 이끌리는 인력에 영향을 줄 수 있어, 일부의 회분구성 광물들이 비선택적으로 혼입될 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에 사

용된 마찰하전장치의 최적 공기속도는 3 kg/cm²로 이때 석탄 회수율과 회분 및 유황분 제거율이 가장 높은 것을 확인할 수 있었다.

4.4. 적용전압의 영향

마찰하전형정전선별에서 하전장치에 의해 하전 된 입자들의 표면하전량은 일반적으로 10⁻³C/kg으로 매우 미미하여 높은 전기장을 이용하여 혼합된 물질을 분리하게 된다. Fig. 7은 bench scale 마찰하전형정전선별 장치를 이용한 선별 실험에서 전극의 전압세기가 석탄 회수율과 회분 및 유황분 제거율에 미치는 영향을 관찰하기 위하여, 전압의 세기를 20 kV에서 40 kV까지 변화하며 실험한 결과이다. 실험결과 전압의 세기가 증가할수록 석탄의 회수율은 감소하는 반면 회분과 유황분 제거율은 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 전압의 세기 20 kV에서 회분 제거율과 유황분 제거율이 각각 23.07%와 22.41%로 가장 낮지만, 전압의 세기가 가장 큰 40 kV에서는 회분 제거율과 유황분 제거율이 각각 34.75%와 30.45%까지 증가하였다. 그러나 석탄 회수율은 20 kV에서 74.28%로 가장 높지만, 전압의 세기가 증가할수록 감소하여 40 kV에서는 64.95%로 가장 낮다.

이와 같이 전극의 전압세기가 마찰하전형정전선별에서 석탄 회수율과 회분 및 유황분 제거율에 영향을 미치는 이유는, 전극의 전압세기에 따라 전극사이에 작용하는 전류의 세기가 달라져 하전장치에 의해 하전 된 입자들을 보다 강하고 선택적으로 끌어당겨 효율적으로 분

리되기 때문이다. 또한 전류가 강하면 마찰하전형정전선별기 내에서 입자들의 이동이 빨라지므로 입자들의 간섭에 의한 방해를 크게 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에 사용된 마찰하전형정전선별 장치에 의해 하전된 입자들의 경우 전극의 전압 세기가 30 kV 이상 되어야 높은 선별효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

4.5. 상대습도의 영향

마찰하전형정전선별에서 상대습도는 입자의 하전량에 매우 큰 영향을 미친다. Fig. 8은 실험실의 상대습도가 선별효율에 미치는 영향을 관찰한 것으로, 실험결과에서 알 수 있듯이 상대습도가 낮을수록 선별효율이 증가하는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 실험실의 상대습도를 30%에서 70%까지 변화하면 실험을 수행하였다. 실험결과 상대습도가 증가할수록 회분 및 유황분 제거율은 큰 변화 없이 소폭 증가하나, 석탄 회수율은 상대습도가 증가할수록 큰 폭으로 감소하여 상대습도가 가장 낮은 30%에서 석탄 회수율이 68.10%이던 것이, 상대습도가 증가할수록 감소하여 상대습도가 가장 높은 70%에서는 57.14%로 석탄 회수율이 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

이와 같이 실험실의 상대습도가 마찰하전형정전선별에 영향을 미치는 이유는 습도의 함량에 따라 입자의 마찰하전 값이 달라지기 때문이다. 즉, 어떤 에너지에 의한 입자 표면의 하전량은 시료 및 상대습도 함량에 반비례하기 때문이다.⁹⁾ 또한 습도 함량에 따른 정제 석

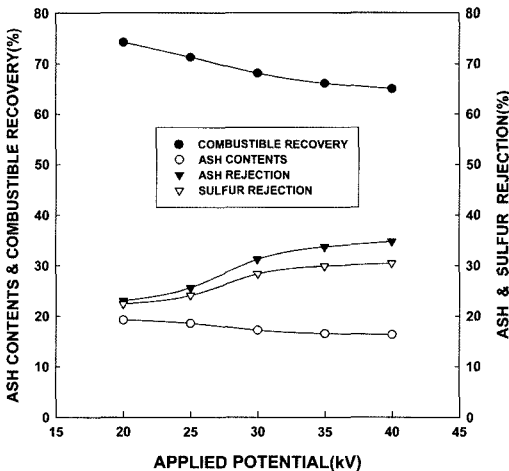


Fig. 7. The effect of applied potential on combustible recovery and ash & sulfur rejection in bench scale triboelectrostatic separation.

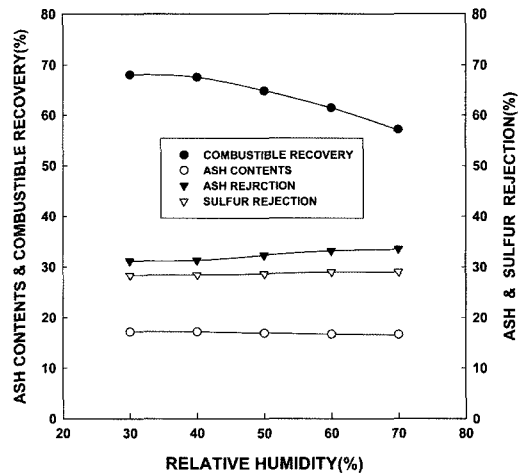


Fig. 8. The effect of relative humidity on combustible recovery and ash & sulfur rejection in bench scale triboelectrostatic separation.

탄의 회분함량은 뚜렷한 차이가 없으나 습도가 낮을수록 조금 높게 나타나는데, 이는 석탄 회수율이 증가하면서 일부 단체분리가 안 된 입자들이 함께 이동되었기 때문이다. 따라서 본 연구결과 좋은 선별효율을 얻기 위해서는 공기 중의 수분함량을 낮게 유지하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

4.6. 탄종변화의 영향

Fig. 9는 최적 실험조건에서 하동발전소 석탄시료의 실험결과와, Grenyn 화력발전소 mill reject 산물의 실험결과를 비교하기 위해 나타낸 그래프이다. 하동발전소 석탄시료의 경우 석탄 회수율과 회분 및 유황분 제거율이 각각 68.10%와 31.23% 그리고 28.33%를 나타내지만, Grenyn 화력발전소 mill reject 산물을 대상으로 한 실험에서는 석탄 회수율과 회분 및 유황분 제거율이 각각 68.23%와 64.17% 그리고 61.34%를 나타내고 있다. 그래프에서 알 수 있듯이 두 시료간의 석탄 회수율에는 큰 차이가 없으나, 회분 및 유황분 제거율은 Grenyn 화력발전소의 mill reject 산물이 하동발전소 석탄시료에 비해 30%가량 높아 분리가 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

이와 같이 두 시료간의 회분 및 유황분 제거율이 차이를 보이는 이유는, 하동발전소 석탄시료의 경우 대부분의 회분구성 광물들이 미립으로 이루어져 있고, 상당량의 회분구성 광물이 석탄 내에 존재하고 있어 단체분리도가 낮으며, 또한 이들이 하전에 나쁜 영향을 미쳤기 때문이다.

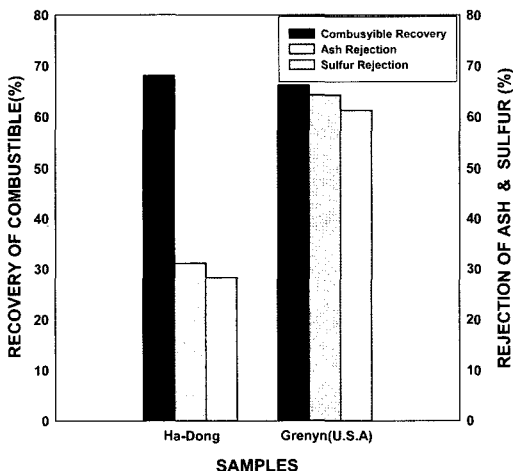


Fig. 9. The effect of different kinds of coals on combustible recovery and ash & sulfur rejection in bench scale triboelectrostatic separation.

5. 결 론

석탄과 회분구성 광물의 선별기술 확립을 위한 마찰하전형정전선별 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 개발된 전극을 이용한 실험결과 구리 재질의 스크린타입 전극이 다른 타입의 전극에 비하여 석탄 회수율 그리고 회분 및 유황분 제거율이 5~30% 정도 높아, 석탄의 품위향 상에 가장 효과적임을 확인하였다.

2. 입자크기가 마찰하전형정전선별 실험에 미치는 영향을 관찰하기 위한 실험결과 20 mesh 입도에서 가장 효율적이었으며, 선별효과를 높이기 위해서는 시료와 선별기의 효율에 따른 적절한 입도 선정이 필요함을 알 수 있었다. 또한 시료를 전기장 내로 이동시키고 하전을 유도하는 공기의 세기는 3 Kg/cm^2 가 최적 실험조건임을 규명하였다.

3. 전류의 세기와 상대습도의 변화에 따른 실험결과 전류의 세기는 높을수록 선별이 잘 이루어지나 석탄 회수율을 고려할 때 30 kV가 최적 실험조건임을 알 수 있었으며, 상대습도의 경우 낮을수록 입자의 하전효율이 증가되어 선별이 잘 이루어짐을 확인하였다.

4. 탄종변화에 따른 실험결과와 석탄 회수율은 큰 차이를 보이지 않지만 회분 및 유황분 제거율은 Grenyn 시료가 하동발전소 시료보다 30%정도 더 높은 것을 알 수 있어, 시료에 따라 선별효율에 차이가 있음을 확인하였다.

5. Bench Scale의 마찰하전형정전선별기를 이용한 실험결과 선별효율에 영향을 미치는 실험변수는 전극의 종류, 입자의 크기, 공기의 세기, 전류의 세기, 상대습도 그리고 시료의 종류로, 본 실험결과와 최적조건에서 석탄 회수율과 회분 및 유황분 제거율이 각각 68.10%, 31.23% 그리고 28.33%인 정제석탄을 얻을 수 있었다.

사 사

이 논문은 산업자원부 에너지관리공단 2003년 학술진흥사업의 지원으로 수행되었으며(관리번호 2003-C-CC03-P-01-0-000-2003) 지원해준 공단에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 전호석, 한오형, 신선명, 윤여환, 2002, 마찰하전형정전선별법을 이용한 Mill Reject 산물 재활용 기술 개발, 한국

리싸이클링학회지, 11(2), pp. 20-27.

2. 전호석 등, 2001, Clean Coal 생산을 위한 마찰하전형정전선별 기술개발, 한국자원공학회 추계학술발표회 논문집, pp. 15-19.
3. Dobby, G. S. and Finch, J., 1986, Column Flotation Scale-up and Modelling, CIM Bullutin., May, 78, pp.89-96.
4. Luttrell, G. H., Monkosa, M. J. and Yoon, R. H., Commercial Development of the MICROCEL™ Flotation Column, Virginia Center for Coal and Minerals Processing, 1992, pp. 1-6.
5. Gaudin, A. M., 1971, The Principal of Electrical Processing with Particular Application to Electrostatic Separation, Minerals Sci. Engng, 13, pp. 46-57.
6. Incullet, I. I., Bergougnou, M. A., and Brown, J. D., 1982, Electrostatic Beneficiation of Coal, Physical Cleaning of Coal, Y.A. Liu ed., Marcel Dekker INC, New York, pp. 87-131.
7. Yoon, R. H., 1998, POC-Scale Testing of a Dry Triboelectrostatic Separation for Fine Coal Cleaning, U.S. Department

- of Energy Federal Energy Technology Center, pp. 4-9.
8. 박철현, 전호석, 김완태, 박재구, 2005, 정전선별법을 이용한 폐전선 피복 플라스틱 재질분리, 한국폐기물학회지, 22(2), pp. 138-144.
9. Ernő Nemétha, Victoria Albrechtb, Gert Schuberta, Frank Simonb, Polymer Tribo-Electric Charging: Dependence on Thermodynamic Surface Properties and Relative Humidity, Journal of Electrostatics, Published by Elsevier Science B. V., 2002.

全 好 錫

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원
- 본 학회지 제10권 6호 참조



白 尙 昊

- 2003년 2월 조선대학교 자원공학과 학사
- 2005년 2월 조선대학교 자원공학과 석사
- 2005년 4월 한국지질자원연구원 신진연구원

韓 五 炯

- 현재 조선대학교 자원공학과 교수
- 본 학회지 제11권 2호 참조