

## 靜電選別法에 의한 高純度 石炭灰와 高炭素 石炭灰의 分離

\*韓五炯 · 姜現皓

朝鮮大學校 資源工學科

### Separation of High Purity and High Carbon Fly Ash by Electrostatic Method

\*Oh Hyung Han and Hyun Ho Kang

Department of Resource Engineering, Chosun University

#### 요 약

2001년 국내에서는 총 491만톤의 석탄회가 발생되어, 이중 약 63.3%가 재활용되고 있으나 이들의 대부분은 콘크리트 혼합물과 시멘트 산업에 사용되고 있다. 그러므로 본 연구에서는 석탄회의 활용도를 높이기 위한 새로운 용도개발을 위한 목적으로 마찰대전법 대신 정전유도법을 사용하였다. 정전유도법을 적용하여 석탄회로부터 1%LOI 이하의 고순도 석탄회와 70%LOI 이상의 고탄소질 석탄회를 얻을 수 있음을 확인하였으며, 본 실험에서 두 전극간의 전위차는 8~16kV 범위로 적용하였다.

주제어: 정전유도, 고순도 석탄회, 고탄소질 석탄회, 전위차

#### ABSTRACT

In 2001, Korea produced a total of 4.91 million metric tons of fly ash, approximately 63.3% of which was recycled. Almost all of the recycled fly ash are used in concrete mixtures and cement industry. Therefore, in order to develop a new usage to increase the utilization of the fly ash, conductive induction was used in this research rather than triboelectrostatic. By applying conductive induction, we could verify the possibility of obtaining high purity fly ash below 1%LOI and high carbon fly ash over 70%LOI from raw fly ash. In this test, the potential difference between the two electrodes was conducted by changing the range of 8 to 16 kV.

Key words: conductive induction, high purity fly ash, high carbon fly ash, potential difference

#### 1. 서 론

국내의 화력발전소에서 발생하는 석탄회의 양은 매년 증가추세에 있어 1998년에 360만톤에서 2001년에는 491만톤으로 증가하였으며 2010년에는 600만 톤으로 급증할 것으로 예상된다. 이러한 석탄회의 재활용율은 1996년 20%에서 2001년 63.3%로 증가하였으며 2010년에는 80%이상으로 증가시킬 계획을 목표로 하고있다.<sup>1)</sup> 그러나 이와 같이 매년 재활용율이 증가하였음에도 불구하고 재활용되고 있는 분야는 시멘트 2차제

품 (무연탄)이나 콘크리트 혼화제(역청탄)에만 주로 사용되고 있어 선진국과 같은 다양한 용도개발이 없이는 재활용율을 높이는 것은 한계가 있을 것으로 보인다.

현재 국내에서는 전체 석탄회 발생량의 25%에 해당하는 무연탄 석탄회의 경우 시멘트 원료 및 2차제품으로 사용되고 있으며, 나머지 75%에 해당하는 유연탄 석탄회의 경우 공기분급을 거쳐 미연탄소함량이 많은 조립질 부분(reject)만을 제거한 후 거의 전량을 시멘트 혼화제로 사용하고 있다. 한편 이와 같이 미연탄소함량을 낮추기 위한 공기 분급과정에서 약 10~15wt.%가 탄소함량이 많은 조립질로 제거되어 다시 매립되고 있다. 그러나 이와 같은 공기분급 과정은 공기력에 의해 서만 분리가 일어나므로 상당량의 미립의 석탄회도 합

\* 2002년 12월 6일 접수, 2003년 2월 11일 수리

\* E-mail: ohhan@chosun.ac.kr

깨 제거되는 경향이 있다.

석탄회로부터 미연탄소분을 제거하는 기술로는 Screen에 의한 방법, 분급에 의한 방법, 부유선별에 의한 방법, 정전선별에 의한 방법이 있다. 이들 방법 중 공기분급에 의한 방법이 가장 저가의 처리비용으로 대량처리가 가능하여 국내에서 가장 많이 이용되고 있으나 공기력에 의해서만 분리되므로 분리의 한계가 있어 고순도 석탄회의 회수는 어렵다. 부유선별의 경우, 석탄회로부터 고순도 석탄회의 회수가 가능한 선별법으로 미립일수록 그 선별효과가 우수한 것으로 알려져 있으나 습식 처리법이므로 별도의 건조비와 부선제의 흡착에 따른 표면성질의 변화에 대한 부담이 따르게 된다. 정전선별의 경우, 건식처리법이라 석탄회의 포졸란 특성을 그대로 유지하면서 미연탄소분을 제거하므로 현재 가장 많은 연구가 진행되고 있다.

이러한 정전선별법은 입자표면의 전기적인 성질을 이용한 것으로 대전 및 분리 메카니즘에 따라 코로나방전형, 마찰대전형, 정전유도형<sup>2-3)</sup>으로 나누고, 현재 석탄회 분리에 이용되는 기술은 마찰대전형이 주를 이루고 있으며<sup>4-8)</sup> 그밖에 공기력에 의한 유동층을 만들어 분리하는 기술<sup>9)</sup>과 vibrator에 의한 유동층을 만들어 분리하는 기술<sup>10)</sup>이 개발되었다. 이들 기술 중 미국 STI기술<sup>11)</sup>이 마찰대전에 의한 것으로 가장 효과적인 분리 기술로 알려져 있으나 belt의 마모로 인한 설치 및 유지비가 고가인 단점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 석탄회의 재활용을 높이기 위한 새로운 용도 개발을 위해 마찰대전형과는 달리 평면 판전극 위에 흐르는 고전류와 바닥에 작용하는 진동을 이용하여 미연탄소분을 정전 유도한 다음, 이를 상부에 위치한 반대 극의 회수대로 반발 이동시켜 분리하는 기술<sup>12)</sup>인 정전유도에 의한 선별법을 적용하여 석탄회로부터 1%LOI 이하의 고순도 석탄회를 회수함과 동시에 70%LOI 이상의 고탄소질 석탄회의 분리 가능성을 확인하였다.

## 2. 시료 및 실험방법

### 2.1. 시료

본 실험에 사용된 시료는 한국FLY-ASH시멘트공업(주)로부터 입수한 석탄회로 분급을 필요로 하지 않는 저탄소질 석탄회(2.60%LOI), 분급과정을 거치지 않은 석탄회 원광(4.34%LOI)과 공기분급기에 의한 분리과정에서 발생한 reject산물(6.92%LOI)을 대상으로 고순도

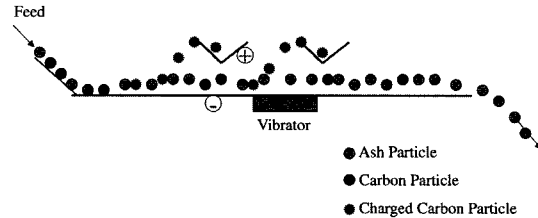


Fig. 1. A schematic diagram of vibrating electrostatic separator<sup>13)</sup>.

석탄회의 분리 가능성을 조사하였고, 이 분리과정에서 고순도 석탄회를 회수하고 남은 미연탄소함량이 많은 시료(29.61%LOI)를 재처리하여 고탄소질 석탄회의 분리 가능성을 조사하였다.

### 2.2. 실험방법

본 연구에서 사용된 선별기는 진동형 정전선별기로 Fig. 1에서와 같이 유도판에는 진동기가 일정한 경사를 이루며 부착되어 있고 그 위에는 일정한 높이로 여러 개의 V-type의 반대전류가 흐르는 회수대(금속)가 있다. 급광된 석탄회 중 미연탄소분은 도체이므로 높은 negative(-) 전류가 흐르는 아래 바닥전극에 접촉하면서 같은 전극으로 쉽게 정전 유도되어 상부에 있는 V-type의 회수대(positive)로 반발 이동하게 되고, 반대로 석탄회는 정전 유도되지 않는 상태로 경사진 바닥전극을 따라 아래로 이동하게 된다. 이때 유도판 아래에 부착된 진동기는 정전 유도되어 반발하는 미연탄소분의 반발을 돕고, 또한 순수한 석탄회가 아래로 이동하는 것을 도와주는 역할을 한다.

본 실험장치의 정전 유도판(바닥전극)은 37×100 cm의 stainless판(1단)으로 되어 있으며 V-type의 회수대는 높이 조절이 가능하도록 조절나사로 고정되어 있다. 또 유도판의 각은 조절이 가능하도록 설치되었으며, 급광은 급광량을 조절할 수 있는 진동형 급광기에 의해 실시하였다. 한편, 적용전압은 0~35 kV까지 조절이 가능한 가변형 D.C. power supply에 의해 공급, 높은 직류전류가 흐르도록 하여 이곳을 통과하는 석탄회로부터 미연탄소분을 정전 분리하였고 급광기 및 정전유도판에 부착된 vibrator는 inverter에 의해 진동의 강도를 조절하면서 일련의 실험을 실시하였다. 각 시료에 대한 미연탄소분의 함량을 LOI%(Loss on Ignition)로 표시하였으며, 영국LENTON사제 회분분석로를 사용하여 ASTM C114에 기술한 방법에 의거 실시하였으며, SEM분석과 EDS분석은 JEOL사제 JSM-840A를 사용하였다.

전체 실험과정에서 실내 습도는 제습기(Woolpool AD60J)를 설치하여 상대습도를 조절하면서 일련의 실험을 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 입도 분석

석탄회 내의 미연탄소분의 입도분포에 따라 선별효과가 다르기 때문에 각 시료에 대한 입도 분포를 조사한 결과 Table 1~4와 같다.

Table 1은 석탄회 원광을 습식 입도 분석한 결과로 사용한 sieve 중 가장 작은 입도인 -500mesh에 55.92wt.%와 LOI가 26.15% 분포되어있으며, 미연탄소

분의 함량이 높은 +200mesh이상의 입도는 16.14wt.%만이 분포되어있어 전체적으로 미립의 석탄회로 구성되어 있음을 알 수 있다.

Table 2는 원광 중 LOI%가 매우 낮아 공기분급 공정을 필요로 하지 않는 더욱 미립으로 구성되어 있는 시료를 습식 입도 분석한 결과로 -500 mesh가 75.88 wt.%를 차지하며 LOI분포 역시 43.53%를 차지하나 풀위가 1.49%LOI로 비교적 미연탄소분이 적게 들어있다. 그러나 미연탄소분의 68.76%가 -200 mesh이하의 미립에 들어 있어 Table 1의 원광보다 더욱 미립으로 구성되어 있다.

Table 3은 1차 공기분급공정을 거쳐 reject된 석탄회로 10.08wt.%만이 -500 mesh에 속하는 조립질 산물로

Table 1. Results of a wet screen analysis for the raw fly ash.

Size range (mesh)	Weight (%)	Assay (%)	Distribution (LOI%)	Size mesh(μm)	Cumulative undersize(%)	Cumulative distribution(LOI%)
-500	55.92	2.03(1.13)	26.15	500( 25)	55.92	26.15
-400+500	12.68	2.27(0.29)	6.63	400( 38)	68.60	32.78
-325+400	5.17	2.97(0.15)	3.54	325( 45)	73.77	36.31
-270+325	3.41	4.27(0.15)	3.35	270( 53)	77.18	39.67
-200+270	6.68	5.98(0.40)	9.20	200( 75)	83.86	48.87
-170+200	5.12	7.12(0.36)	8.40	170( 90)	88.98	57.26
-100+170	6.65	11.98(0.80)	18.35	100(150)	95.63	75.61
-60+100	3.01	22.45(0.68)	15.56	60(210)	98.64	91.18
+60	1.36	28.17(0.38)	8.82	+60	100.00	100.00
	100.00	(4.34)	100.00			

Table 2. Results of a wet screen analysis for the fine fly ash.

Size range (mesh)	Weight (%)	Assay (%)	Distribution (LOI%)	Size mesh(μm)	Cumulative undersize(%)	Cumulative distribution(LOI%)
-500	75.88	1.49(1.13)	43.53	500( 25)	75.88	43.53
-400+500	6.91	3.02(0.21)	8.03	400( 38)	82.79	51.57
-325+400	4.25	3.01(0.13)	4.93	325( 45)	87.04	56.49
-270+325	2.21	3.98(0.09)	3.39	270( 53)	89.25	59.88
-200+270	4.65	4.96(0.23)	8.88	200( 75)	93.90	68.76
-170+200	2.72	8.78(0.24)	9.20	170( 90)	96.62	77.96
-100+170	2.65	15.29(0.41)	15.60	100(150)	99.27	93.56
-60+100	0.68	22.45(0.15)	5.88	60(210)	99.95	99.44
+60	0.05	29.27(0.01)	0.56	+60	100.00	100.00
	100.00	(2.60)	100.00			

**Table 3.** Results of a wet screen analysis for the cyclone reject fly ash.

Size range (mesh)	Weight (%)	Assay (%)	Distribution (LOI%)	Size mesh( $\mu\text{m}$ )	Cumulative undersize(%)	Cumulative distribution(LOI%)
-500	10.08	1.02(0.10)	1.49	500( 25)	10.08	1.49
-400+500	4.85	0.42(0.02)	0.29	400( 38)	14.93	1.78
-325+400	6.20	0.31(0.02)	0.28	325( 45)	21.13	2.06
-270+325	5.65	0.36(0.02)	0.29	270( 53)	26.78	2.35
-200+270	15.12	0.72(0.11)	1.57	200( 75)	41.90	3.92
-170+200	13.45	1.50(0.20)	2.92	170( 90)	55.35	6.84
-100+170	24.28	5.62(1.36)	19.71	100(150)	79.63	26.55
-60+100	15.74	22.02(3.47)	50.08	60(210)	95.37	76.63
+60	4.63	34.94(1.62)	23.37	+60	100.00	100.00
	100.00	(6.92)	100.00			

**Table 4.** Results of a wet screen analysis for the high carbon fly ash.

Size range (mesh)	Weight (%)	Assay (%)	Distribution (LOI%)	Size mesh( $\mu\text{m}$ )	Cumulative undersize(%)	Cumulative distribution(LOI%)
-500	7.28	3.24(0.24)	0.80	500( 25)	7.28	0.80
-400+500	1.70	2.56(0.04)	0.15	400( 38)	8.98	0.95
-325+400	2.35	1.38(0.03)	0.11	325( 45)	11.33	1.06
-270+325	2.04	0.92(0.02)	0.06	270( 53)	13.37	1.12
-200+270	6.89	2.16(0.15)	0.50	200( 75)	20.26	1.62
-170+200	8.37	6.16(0.51)	1.74	170( 90)	28.63	3.36
-100+170	37.67	24.79(9.34)	31.53	100(150)	66.30	34.89
-60+100	25.57	52.48(13.42)	45.32	60(210)	91.87	80.21
+60	8.13	72.07(5.86)	19.79	+60	100.00	100.00
	100.00	(29.61)	100.00			

Table 1과 2의 시료와는 반대로 -200 mesh이하의 입도에 1%LOI이하의 고순도 석탄회가 분포되어 있으며 대부분(93.16%)의 미연탄소분이 +170 mesh에 분포되어 있다. 시료 중 조립질 입도 범위인 -60+100 mesh의 LOI는 22.02%, +60 mesh는 34.94%를 나타내고 있다.

Table 4는 고탄소질 석탄회의 회수 가능성을 확인하기 위해 1차 정전선별 한 후 선별과정에서 반발 제거된 산물로부터 얻은 시료를 입도 분석한 것으로 -200mesh이하의 입도는 20.26 wt.%정도로 적은 양의 미립이 포함되어 있다. 한편, 이 입도범위에 포함된 LOI누적분포는 1.62%에 불과하고 나머지 98.38%는 +200 mesh이상의 입도에 분포되어 있다. 시료 중 조립질 입도범위인 -100+170 mesh의 LOI는 24.79%LOI, -60+100 mesh는

52.48%LOI, +60 mesh에는 72.07%LOI를 나타내 이 입도 범위에는 대부분이 고탄소질 석탄회로 구성되어 있음을 알 수 있으며, 이 3가지 입도 범위에 총 96.65 wt.%가 분포되어 있다.

### 3.2. 적용전압의 영향

적용전압의 영향을 확인하기 위해 원광(4.34%LOI) 3 kg을 0.1 ton/hr의 급광비로 공급하여 적용전압을 8 kV에서 16 kV범위로 조절하면서 실험을 실시한 결과 Fig. 2에서와 같이 적용전압이 증가할수록 반발 제거된 미연탄소분의 양이 많아져 16kV에서는 4.34%LOI를 급광하여 2.98%까지 감소하지만 회수율이 93%까지 급격히 떨어지는 현상을 확인 할 수 있었다. 이는 적용전압이 높

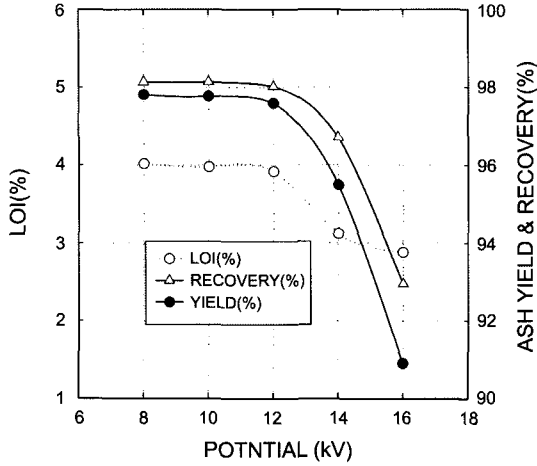


Fig. 2. Effects of applied potential difference on the removal of unburned carbon from raw fly ash(4.34%LOI)

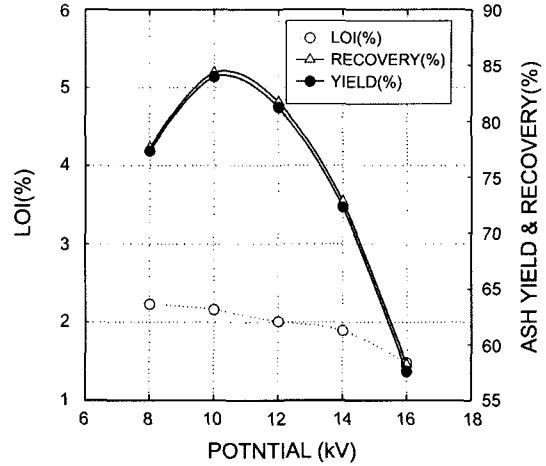


Fig. 4. Effects of applied potential difference on the removal of unburned carbon from low carbon fly ash (2.60 %LOI)

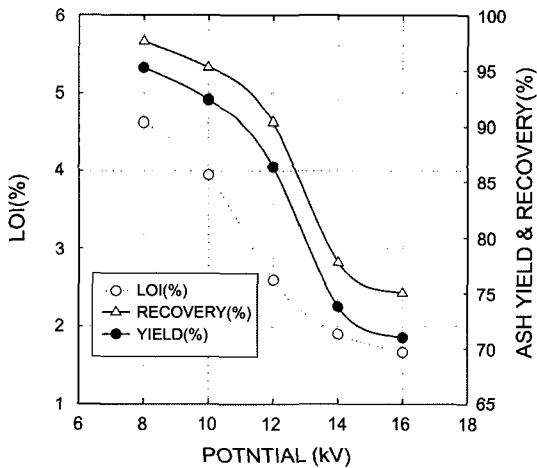


Fig. 3. Effects of applied potential difference on the removal of unburned carbon from cyclone reject sample (6.92%LOI)

을 경우 일부 회분도 일부 정전 유도되어 함께 반발하는 경향이 있기 때문이다. 그러나 14kV에서는 97%이상의 높은 회수율을 유지하면서 LOI도 3.10%까지 떨어져 선별효과가 좋은 전압 조건임을 확인할 수 있었다.

cyclone reject 산물의 경우, 적용전압의 영향을 확인하기 위해 원광과 같은 조건에서 6.92%LOI를 0.1 ton/hr의 급광비로 공급하여 적용전압을 8 kV에서 16 kV범위로 조절하면서 실험을 실시한 결과 Fig. 3에서와 같이 전체적으로 적용전압이 증가할수록 분리가 잘 일어났으며 원광에 비해 회수율과 산출율은 떨어지지만 LOI%의 감소율이 훨씬 높아 16 kV에서는 1.67%LOI로

원광보다는 분리가 잘 일어났다. 이러한 현상은 cyclone reject의 경우 Table 2의 입도분석에서 알 수 있듯이 전체 미연탄소분의 70%이상이 +100 mesh의 조립에 포함되어 있어 분리가 용이함을 알 수 있으며, 12kV에서 90%이상의 회수율을 유지하면서 LOI도 2.6%까지 떨어져 원광보다 높은 선별효과를 나타냈다.

원광 중 LOI%가 매우 낮으며(2.60%) 미립으로 구성되어 있는 시료를 대상으로 적용전압을 8 kV에서 16 kV범위로 조절하면서 실험을 실시한 결과 Fig. 4에서와 같이 전체적으로 적용전압이 증가할수록 분리효과에 차이는 있으나 Fig. 2의 원광과 Fig. 3의 cyclone reject와는 매우 다른 양상을 나타내고 있다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 8 kV에서는 미연탄소분의 일부와 회분이 함께 반발 제거되어 77.59%의 회수율과 함께 LOI는 불과 0.37%정도만이 떨어져 거의

분리가 일어나지 않았으며, 16 kV에서는 LOI가 1.48%까지 떨어졌으나 회수율이 58%로 낮아졌다. 이러한 현상은 일부 회분과 미연탄소분이 상호분리가 되지 않은 상태로 높은 전압 때문에 함께 반발 제거되기 때문이다.

이와 같이 적용 전압차에 따른 실험 결과를 종합해보면 Table 2(fine size)에서와 같이 미립으로 구성되어 있고 특히 미연탄소분이 주로 미립에 분포되어 있는 시료는 상호분리가 되지 않은 상태에서 반발 제거되는 경향이 있어 분리효과가 낮았으나, Table 3(cyclone reject)와 같이 미연탄소분이 주로 조립에 분포되어 있는

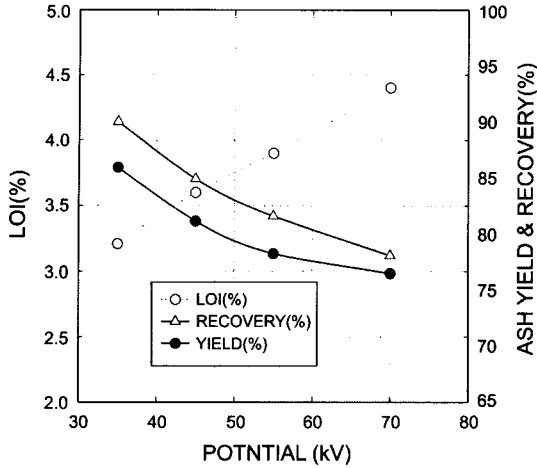


Fig. 5. Effects of humidity on the removal of unburned carbon from cyclone reject sample(6.92%LOI)

시료는 매우 효과적으로 분리가 일어남을 알 수 있다.

3.3. 습도의 영향

정전선별에서 가장 중요하게 작용하는 인자 중 하나인 상대습도의 함량에 따른 선별효과를 확인하기 위해 비교적 선별효과가 좋은 cyclone reject 산물(6.92%LOI)을 사용, 전격전압을 12kV로 하고 습도의 변화에 따른 영향을 조사하였다. 그 결과 Fig. 5와 같이 습도가 가장 낮은 35%의 실험조건에서는 6.92%LOI를 급광하여 3.21%LOI의 산물을 91.41%의 비교적 높은 회수율로 얻을 수 있었다. 그러나, 습도가 증가할수록 LOI% 감소율이 낮아 습도가 70%인 경우, 산물의 LOI는 4.4%로 불과 2.5%정도 떨어진 반면 회수율은 81.21%까지 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 습도가 증가할수록 반발 제거된 양은 많아지나 일부 미립의 회분이 미연탄소분에 붙어서 함께 반발 제거되기 때문이다. 이러한 현상은 석탄회가 미립 일수록 더욱 심하게 나타난다.

3.4. 처리회수의 영향

원광의 경우, 적용전압실험에서 확인한 최적 전압인 14 kV를 적용하여 연속 4회 처리한 결과 Fig. 6에서와 같이 4.34%LOI를 급광하여 1회 통과 후 96.71%의 높은 회수율과 함께 3.12%LOI 산물을 얻을 수 있었으나, 산물의 품위는 약 1.2%만 감소하였으며 3회 통과 시 82.84%의 회수율과 함께 1.03%LOI의 산물을 4회 통과 시 79.51%의 회수율로 0.94%LOI 산물을 얻을 수

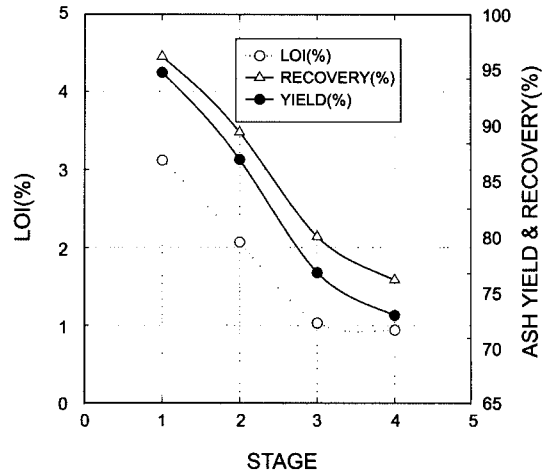


Fig. 6. Effects of multiple stage of cleaning on the removal of unburned carbon from raw fly ash(4.34%LOI)

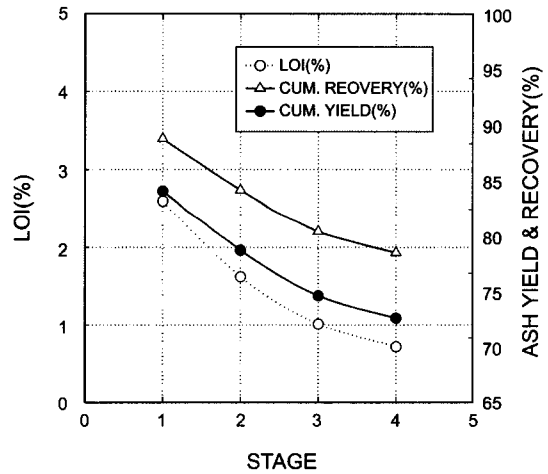
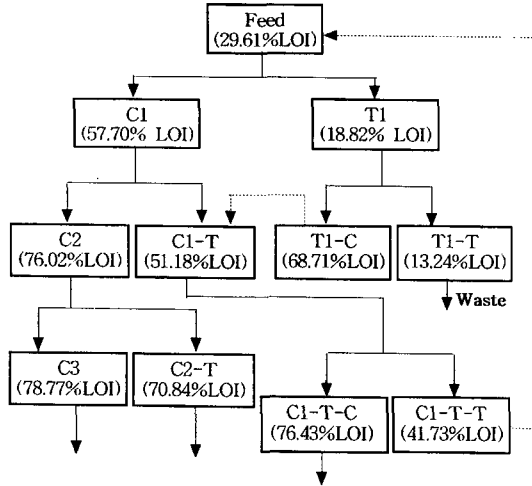


Fig. 7. Effects of multiple stage of cleaning on the removal of unburned carbon from cyclone reject fly ash (6.92%LOI)

있어 1%LOI이하의 산물을 얻기 위해서는 4회 이상을 통과시켜야만 하였다.

Fig. 7은 cyclone reject를 12 kV를 적용하여 연속 4회 처리한 결과를 나타낸 것으로 6.92%LOI를 급광하여 1회 통과 후 2.60%LOI 산물을 90.37%의 회수율과 함께 얻을 수 있어 원광에 비해 분리효과가 우수하여 단 1회 통과로 산물의 품위가 4.3%LOI로 감소하였으며 회수율은 원광에 비해 낮지만 이는 많은 양의 미연탄소분이 반발 제거되었기 때문이다. 한편, 통과회수를 증가하여 3회 통과 후 1.01%LOI, 4회 통과 후 0.72% 산물을 81.6%의 회수율과 함께 얻을 수 있었다.



\*Dot line(---) indicate the recycle route.

Fig. 8. Flowsheet for production of high carbon fly ash.

이러한 결과는 cyclone reject가 원광에 비해 분리효과가 우수하여 1회 통과 후 대부분의 미연탄소분이 반발 제거되었으며, 통과회수를 늘릴 경우 미분리되어 남아 있는 미연탄소분이 쉽게 분리되어 반발 제거되었기 때문에 3회를 추가로 통과 시킨 후에도 LOI는 0.72% 까지 감소하면서 회수율은 불과 10%정도만 감소하여 81.60%를 유지하였다.

3.5. 고탄소질 석탄회

석탄회의 선별과정에서 반발제거 된 시료를 혼합한 후 이들로부터 고탄소질 석탄회를 얻기 위해 cyclone reject산물의 분리에 적용한 실험 조건인 0.1 ton/hr의 급광비로 12 kV 전압하에서 일련의 실험을 실시하여 Fig. 8과 같은 공정도를 완성할 수 있었다.

Fig. 8에서 고순도 석탄회를 얻기 위한 분리공정에서 반발 제거된 미연탄소분이 많은 석탄회(29.61%LOI)를 1차 처리하여 57.70%LOI(C1)의 1차 정광을 얻을 수 있었으며 이를 재처리하여 76.02%LOI(C2) 산물을 얻을 수 있었다. 한편 1차 처리과정에서 나온 광미(18.82%LOI, T1)를 재처리할 경우, 68.71%LOI(T1-C)의 정광을 얻을 수 있어 이를 1차 정광의 재처리과정에서 발생한 광미(C1-T)와 혼합한 후 재처리하여 76.43%LOI(C1-T-C)를 얻을 수 있었다. 또, 최종(2차 재처리)처리과정에서 발생하는 41.73%LOI의 광미(C1-T-T)는 최초 급광(29.61%)으로 보내 혼합하여 recycling 하게되면 2차 광미에서 발생한 산물(13.24%LOI)만 waste로 처리

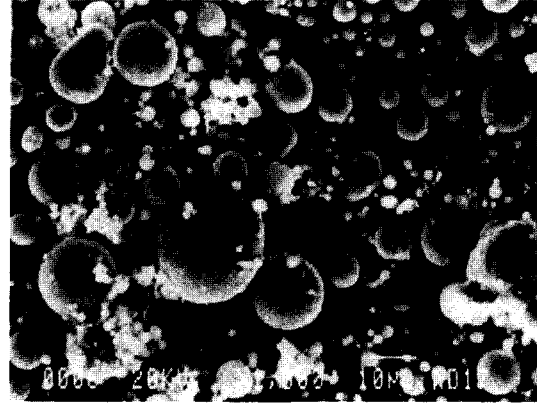


Fig. 9. SEM micrograph of high purity fly ash.

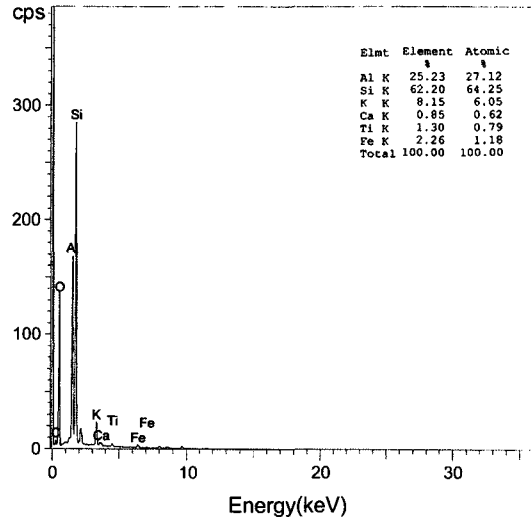


Fig. 10. EDS analysis of high purity fly ash.

하는 공정을 얻을 수 있다.

3.6. 고순도 석탄회의 SEM 사진과 EDS 분석

1차 정전선별 후 Reject된 산물(29.61%LOI)을 12 kV의 적용전압으로 4회 처리하여 얻은 고순도 석탄회의 구조를 확인하기 위해 SEM사진을 확인한 결과, Fig. 9와 같이 고순도(0.9%LOI) 석탄회내에 0.1~30 μm 범위의 구형의 석탄회가 고루 분포되어 있다. 이와 같이 다양한 입도가 섞여있어 cyclone 분급기 만으로 석탄회의 분리에는 한계가 있음을 보여 주고 있다.

한편, 이 시료의 EDS분석 결과를 보면 Fig. 10에서와 같이 미연탄소분(C)는 미량 존재하고 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SiO<sub>2</sub>가 주를 이루며 그밖에 소량의 K<sub>2</sub>O와 미량의 CaO,

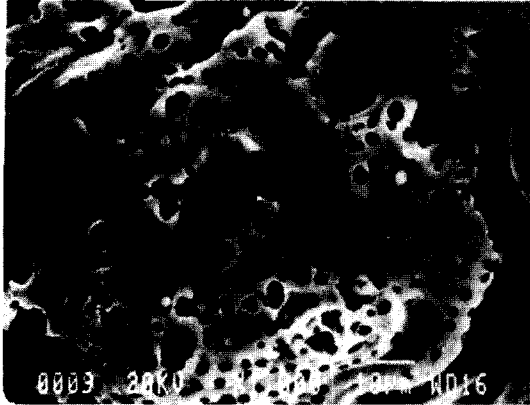


Fig. 11. SEM micrograph of high carbon fly ash.

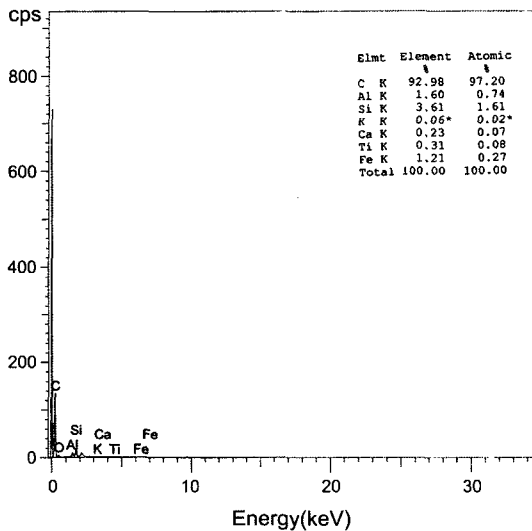


Fig. 12. EDS analysis of high carbon fly ash.

TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 포함되어 있음을 알 수 있다.

### 3.7. 고탄소질 석탄회의 SEM 사진과 EDS 분석

미연탄소분의 함량이 높은 고탄소질(75%LOI 이상)석탄회에 대한 SEM사진을 확인 한 결과 Fig. 11에서와 같이 미연 탄소 내에 0.1~10 μm정도의 세공이 무수히 발달되어 있어 흡착능이 강한 활성탄과 유사한 구조를 이루고 있다.

한편, Fig. 12는 고탄소질 석탄회의 EDS분석 결과를 나타낸 것으로 미연탄소(C)가 주를 이루고 있으며 미량의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함하고 있다. 이는 Fig. 11에서 볼 수 있듯이 몇 개의 세공 사이에 구형을 이룬 미립의 석탄회가 박혀 있기 때문

으로 보인다.

## 4. 결 론

1. 입도분석 결과 원광은 -500 mesh 이하의 입도가 55.92wt.%를 차지하며 LOI분포도 26.15%로 나타나 미립으로 구성되어있는 반면 cyclone에서 1차 선별과정을 거친 reject산물은 -200 mesh이하가 41.90wt.%를 차지하며 LOI 분포도 3.92%만이 분포되어있다. 한편, reject 산물을 1차 선별하여 제거된 고탄소질 석탄회의 경우 -200 mesh 이하가 20wt.%이며 LOI분포는 1.62%로 낮게 나타났다.

2. 적용전압에 따른 선별효과를 조사한 결과 전압이 높을수록 전 시료가 동일하게 반발제거된 미연탄소분이 많아져 산물의 LOI%는 낮아지나 일부 회분도 하전이 일어나 회수율이 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 cyclone reject 산물의 경우는 비교적 LOI%가 높은 조립질로 구성되어 있어 낮은 전압에서도 분리효과가 높음을 알 수 있었으나, 반대로 LOI%가 낮고 미립으로 구성된 시료는 분리효과가 상대적으로 낮음을 알 수 있었다.

3. 상대습도의 함량에 따른 영향을 확인한 결과 상대습도함량이 낮은 35%일 때는 비교적 높은 분리효과를 나타냈으나, 70%일 때는 산물의 LOI%에는 큰 차이가 없으며 회수율만 낮아져 매우 낮은 분리효과를 나타냈다. 이러한 현상은 상대습도가 높을수록 일부 미립의 회분이 미연탄소분에 부착되어 함께 반발 제거되기 때문이다.

4. 처리회수에 따른 선별효과를 확인하기 위해 4회 연속 실시한 결과 원광의 경우는 통과회수가 증가할수록 산물의 LOI%와 회수율이 급격히 감소하지만 cyclone reject의 경우 1회 만의 처리로 대부분의 미연탄소분의 분리가 일어나 2회 이상부터는 비교적 완만한 분리곡선을 나타내어 조립질 석탄회의 분리효과가 더 우수함을 알 수 있었다.

5. 처리회수에 따른 선별효과에서 원광(4.34%LOI)의 경우 4회 처리하여 0.94%LOI의 고순도 석탄회 산물을 79.51%의 회수율과 함께 얻을 수 있었으며, cyclone reject(6.92%)의 경우도 4회 처리하여 0.72%LOI의 고순도 석탄회 산물을 81.6%의 회수율로 얻을 수 있었다.

6. cyclone reject산물을 대상으로 실시한 분리실험에서 반발 제거된 미연탄소분이 많은 시료(29.61%LOI)를 재처리(3단)한 결과 76%LOI 이상의 고탄소질 석탄회를



얻을 수 있었다.

7. 고순도 석탄회를 SEM사진과 EDS분석을 실시한 결과 0.1~30  $\mu\text{m}$ 크기의 구형의 석탄회가 고루 분포되어 있으며 극히 미량의 미연탄소분(C)이 존재하며  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 와  $\text{SiO}_2$ 가 주를 이루고 소량의  $\text{K}_2\text{O}$ 와 미량의  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 가 포함되어 있고, 고탄소질 석탄회의 경우 미 연탄소 내에 0.1~10  $\mu\text{m}$ 크기의 세공이 무수히 발달되어 있고 미량의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 를 포함하고 있음을 확인하였다.

### 사 사

본 연구는 1999년도 조선대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사 드리고, 시료와 자료 등을 제공해준 한국 FLY-ASH 시멘트공업(주)에도 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 이희상: "국내외 석탄회 발생 및 처리현황", 석탄회 활용 기술 연구회 워크숍, 3-15 (2002).
2. Kelly, E. G. and Spottiswood, D. J.: "The Theory Electrostatic Separations: A Review Part II. Particle Chargeing", Mineral Engineering, 2(2), 193-205 (1989).
3. Tennal, K. B. et al.: "Triboelectric Separation of Granular Materials", IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Louisiana, October 5-8 pp.1724-1729 (1997).
4. Ban H. et al.: "Fundamentals of Triboelectrostatic Separation: A Discussion on Particle Charge, Particle Size and Separation". Preprint, Annual Meeting of the Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. (SME), Denver, CO. (1997).
5. Hepher, N. M.: "Apparatus for Separating Particulate Materials", U. S. Patent 4,556,486 (1985).
6. Inculet, I. I., Norberg, K. E. and Hepher, N. M.: "Method of Apparatus for Separation Particulate Materials", U.S. Patent 4,517,078 (1985).
7. Stencel, J. M., Schaefer, J. L. Ban, H. and Finseth, D.: "Method and Apparatus for Triboelectric-Centrifugal Separation", U. S. Patent 5,755,333 (1998).
8. Stencel, J. M. et al.: "Technology Development for Carbon-Ash Beneficiation by Pneumatic Transport, Triboelectric Processing", 1999 International Ash Utilization Symposium, October 18-20, Lexington, Kentucky (1999).
9. Edward K. Levy and Carlos Herrera: "Ash Beneficiation Using Fluidized Bed Separation, 1997 International Ash Utilization Symposium, 467-470, Lexington, Kentucky (1977).
10. Inculet, I. I.: "Electrostatic Mineral Separation, Research Studies Press Ltd", London, 85-93 (1984)
11. Bittner, J. D.: "STI Fly Ash Separation System: Operating History at New England Power's Brayton Point Plant", 12th International Symposium on Coal Combustion By-Product(CCB) Management and Use. EPRI TR-107055-V2, 2, 62-1~64-5 (1997).
12. Roe-Hoan Yoon, Oh-Hyung Han, Eric S. Yan and Byung-Wook Park: "Electrostatic Method of Separating Particulate Materials", U.S. Patent 6,320,148 B1 (2001).
13. 한오형, 전호석, Roe-Hoan Yoon: "석탄회로부터 미연탄소 분 제거를 위한 정전분리기 기술 개발", 한국자원공학회지, 38(6), 416-423 (2001).



韓 五 炯

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



姜 現 皓

- 2001년 조선대학교 대학원 자원공학과 공학석사
- 현재 조선대학교 대학원 자원공학과 박사과정