

발전용 석탄의 전처리에 의한 중금속 배출 저감에 관한 연구 (Reduction of Toxic Emissions by Coal Cleaning)

최우진¹⁾, 전호석²⁾, 송규소³⁾, 지평삼³⁾

1)수원대학교 환경공학과

2)한국자원연구소 자원활용소재연구부

3)전력연구원 석탄응용연구팀

요 약

석탄중에는 미량원소(trace elements)가 포함되어 있으며 이들의 농도는 석탄의 종류나 산지에 따라 크게 다르다. 석탄중의 미량원소를 제거하는 것은 그동안 크게 문제가 되지 않았으나 최근 환경문제가 점차 고조되면서 이에 대한 관심이 높아지고 있다. 일반적으로 사람의 건강 및 환경에 유해한 원소중에서 화석연료 사용과 관련이 있는 원소는 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 구리(Cu), 수은(Hg), 니켈(Ni), 셀레니움(Se) 및 아연(Zn) 등 8개 원소이다. 그러나 그외에도 배출규제의 대상이 되는 원소는 코발트(Co), 염소(Cl), 안티모니(Sb), 베릴리움(Be), 크롬(Cr)과 망간(Mn)이며 이 중 망간은 석탄사용과 직접적인 관련이 있다. 따라서 Mn을 포함한 9개 원소가 석탄의 사용에 따른 중금속 방출과 관련이 있는 것으로 간주되고 있다.

본 연구에서는 발전용 석탄에 대한 물리적 전처리 공정을 적용하여 석탄중의 광물질등을 미리 제거함으로써 연소후 배출되는 배기가스중의 중금속 저감 가능성을 관찰하였다. 본 연구결과 전처리 공정이 석탄중의 Trace elements양을 감소시키므로써 연소후 중금속의 배출량을 크게 줄일 수 있음을 확인하였다.

발전소에 적용하고 있는 ESP가 배출가스중의 As, Cu, Zn, Mn 등의 중금속을 제거하는데 효율적이기는 하나 가스상으로 존재하는 Hg, Se 등을 제거하는데는 효율적이지 못하다. 전처리 공정 전후 회분중에 함유된 미량원소를 분석한 결과, 국내 무연탄이나 해외 유연탄 모두 중금속 제거에 있어서 유사한 경향을 보여주었으며, Pb, Zn, Mn 등은 50~70%, 특히 Hg 배출량은 80% 이상 저감이 가능하였다. 전반적으로 연간 총 중금속 배출량도 50~60%가 감소하여 전처리 공정이 석탄중의 중금속을 줄이는데 크게 기여함을 확인하였다.

Table 1. Trace Element HAPs in Coal

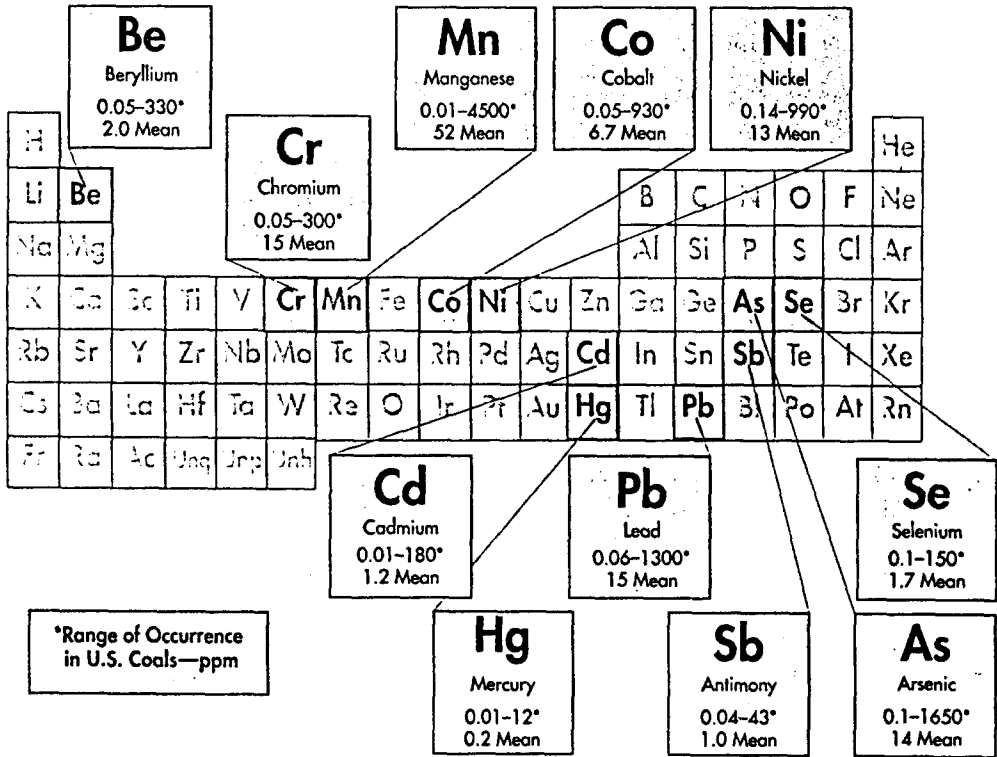


Table 2. Effect of coal cleaning on ash/sulfur reduction and the amount of SO₂ emissions.

Sample		Ash(%)	Sulfur(%)	SO ₂ emission (ppm)	Reduction	
					Ash (%)	Sulfur(%)
Samchuck Raw Coal		41.50	1.14	950	-	-
Conc.	Flotation	11.08	0.42	350	73.30	63.16
	Eriez Wet Mag.	13.57	0.24	200	67.30	78.73
	SALA Wet Mag.	32.00	0.28	233	21.95	75.44
	Gravity Separation	29.41	0.42	350	29.13	63.27
Chinese High-sulfur Raw Coal		33.52	5.49	4575	-	-
Conc.	Flotation	12.37	2.13	1775	63.10	61.21
	Trielectrostatic Sep.	13.99	2.59	2158	58.26	52.82
	SALA Wet Mag.	21.50	2.12	1767	35.86	61.38
S. Africa Trans Raw Coal		12.17	0.50	417	-	-
Conc.	Trielectrostatic Sep.	5.94	0.22	166	51.16	56.16
	Flotation	10.56	0.47	392	13.23	6.00
	Gravity separation	7.07	0.48	400	25.47	4.00
S. Africa AMCOAL Raw Coal		13.78	0.56	467	-	-
Conc.	Trielectrostatic Sep.	11.25	0.40	333	18.36	28.57
	Flotation	11.04	0.45	375	19.88	19.64
S. Africa Douglas Raw Coal		14.62	0.48	400	-	-
Conc.	Trielectrostatic Sep.	10.88	0.35	292	25.58	27.08
	Flotation	12.06	0.39	325	17.51	18.75
	SALA Wet Mag.	8.94	0.28	233	42.01	38.84
Chinese Dongjin Raw Coal		9.64	0.85	708	-	-
Conc.	Trielectrostatic Sep.	5.70	0.44	367	40.87	48.24
	Flotation	4.74	0.53	442	50.83	37.65
	SALA wet Mag.	5.20	0.48	400	46.06	43.53
Canada LCR Raw Coal		15.83	0.51	425	-	-
Conc.	Trielectrostatic Sep.	10.10	0.32	267	36.20	37.25
	Flotation	8.70	0.34	283	45.04	33.33
	Gravity Separation	11.30	0.39	325	28.62	23.53
	SALA wet Mag.	13.60	0.39	325	14.09	23.53
Indonesia KIDECO Raw Coal		1.85	0.15	125	-	-
Conc.	Trielectrostatic Sep.	1.21	0.10	100	34.45	33.33
	Flotation	1.52	0.14	116	17.84	6.67
	Gravity Separation	1.58	0.13	108	14.59	13.33
U.S.A CYPRUS Raw Coal		8.63	2.49	2075	-	-
Conc.	Trielectrostatic Sep.	6.90	0.34	283	20.05	86.35
	Flotation	3.10	0.45	375	64.41	81.93
	Gravity Separation	6.60	0.48	400	23.52	80.72

Conc. : Concentrate

Table 3. Mean Trace element concentrations in various coal samples.

(unit : ppm)

Element	Samchuck	High-Sulfur coal	Dongjin
Cu	42	26	12
Ni	42	10	
Pb	90	32	24
Zn	43	49	52
As	<1	<1	71
Cd	<1	<1	<3
Mn	161	237	42
Se	21	26	
Hg	10	10	

Table 4. Distribution of trace elements following combustion

Element	Bottom Ash (%)	Precipitator (%)	Flue Gas (%)
As	<1	99	<1
Cd	16	80	4
Cu	13	86	1
Pb	10	82	8
Hg	2	0	98
Ni	14	68	18
Se	1	71	28
Zn	29	68	3
Mn	17	82	1

Table 5. Trace element reductions by precombustion cleaning of various coals.

Elements Samples	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Mn	Se	Hg
Samchuck Raw Coal	42	42	90	43	< 1	< 1	161	21	10
Flotation	26	32	26	18	< 1	< 1	47	8.5	2
Reduction(%)	38.09	23.8	71.11	58.14			70.19	59.52	80
Wet Magnetic Separation	25	19	40	25	< 1	< 1	48	13.5	1
Reduction(%)	40.48	54.76	55.56	41.86			70.19	35.71	90
Gravity Sep.	41	29	53	17.4	< 1	< 1	95	10.5	1
Reduction(%)	0.02	30.95	41.11	59.53			40.99	50	90
Chinese Raw Coal	26	10	32	49	< 1	< 1	237	26	10
Flotation	13	7	9.3	26	< 1	< 1	48	4	2
Reduction(%)	50	30	70.94	46.94			79.75	84.62	80
Electrostatic Separation	22	8	22	33	< 1	< 1	132	4	2
Reduction(%)	15.40	20	31.25	32.65			44.30	84.62	80
Dongjin Raw Coal	12		24	52	71	< 3	42		
Wet Magnetic Separation	4		10	33	54	< 3	10		
Reduction(%)	66.67		58.33	36.54	23.94		76.19		
Flotation	9		12	14	31	< 3	20		
Reduction(%)	25		50	73.08	56.34		52.38		
Electrostatic Separation	9		8	18	49	< 3	37		
Reduction(%)	25		66.67	65.38	30.99		11.90		

Table 6. Trace element reductions via precombustion cleaning of coal.

Range of Reduction (%)	Samchuck			Chinese		Dongjin		
	Flotation	Wet Mag.	Gravity Sep.	Flotation	E. static Sep.	Flotation	Wet Mag.	E. static Sep.
<25	Ni	-	Cu	-	Cu, Ni	As	Cu	Cu, Mn
26~50	Cu	Cu, Zn, Se	Ni, Pb, Mn, Se	Cu, Ni, Zn	Pb, Zn, Mn	Zn	Pb	As
51~70	Zn, Se	Ni, Pb	Zn	Pb	-	Su, Pb	As, Mn	Pb, Zn
71~90	Pb, Mn, Hg	Mn, Hg	Hg	Mn, Se, Hg	Se, Hg	Mn	Zn	-
> 90	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 7. Annual trace element emissions from a utility plant burning a raw coal and physically cleaned coals. (units : ton)

Element	Samchuck				Chinese			Dongjin			
	Raw Coal	Flota-tion	Wet Mag.	Gravity Sep.	Raw Coal	Flota-tion	E-Sep.	Raw Coal	Flota-tion	Wet Mag.	E-Sep.
Cu	0.21	0.13	0.13	0.21	0.13	0.07	0.11	0.06	0.02	0.05	0.05
Ni	3.78	2.88	1.71	2.61	0.90	0.63	0.72				
Pb	3.60	1.04	1.60	2.12	1.28	0.37	0.88	0.96	0.40	0.48	0.32
Zn	0.65	0.27	0.38	0.26	0.74	0.39	0.49	0.78	0.50	0.21	0.27
As	0	0	0	0	0	0	0	0.36	0.27	0.16	0.25
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0.81	0.24	0.24	0.48	1.19	0.24	0.66	0.21	0.05	0.10	0.19
Se	2.94	1.19	1.89	1.47	3.64	0.56	0.56				
Hg	4.90	0.98	0.49	0.49	4.90	0.49	0.49				
Total	16.9	6.73	6.43	7.63	12.77	2.36	3.92	2.37	1.24	0.99	1.07
Total Reduction (%)	-	60.2	61.9	54.8	-	81.5	69.3	-	47.7	58.1	54.9