

## 강릉·태백지역 석탄광산의 탄 및 호흡성 탄분진중 금속 농도 비교에 관한 연구

근로복지공사 직업병연구소

김 해정·최 호춘·정 호근

### —Abstract—

#### Determination of Metals of Coal and Respirable Coal Dust in Gangneung and Taebaek Coal Mines

Hae Jeong Kim, Ho Chun Choi, Ho Keun Chung

*Institute of Occupational Diseases, Korea Labour Welfare Corporation*

Determination of Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn concentrations in coal and respirable coal dust were performed by atomic absorption spectrophotometry. The coal samples of 18 coal mines in Gangneung area were collected and 25 coal mines in Taebaek area. Crushed coal samples were divided into three mesh sizes.

The results were as follows:

1. Metal concentrations of coals in Gangneung area by sieve sizes(−100/+200 mesh, −200/+325 mesh, −325 mesh) were as follows: Cu; 20, 18, 19, Fe; 1,830, 1,765, 1,107, Pb; 6, 8, 14, Ni; 17, 17, 14, Zn; 4, 2, 4  $\mu\text{g/g}$ , respectively. Metal concentrations in coals in Taebaek area by sieve sizes(−100/+200 mesh, −200/+325 mesh, −325 mesh) were as follows: Cu; 30, 32, 26, Fe; 1,741, 1,822, 1,773, Pb; 8, 9, 7, Ni; 13, 13, 13, Zn; 8, 5, 4  $\mu\text{g/g}$ , respectively.

There were not significant differences of Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn concentrations of coals statistically in Gangneung and Taebaek area by sieve size.

2. Metal concentrations of coals in Gangneung and Taebaek area were as follows: Cu; 19, 30, Fe; 1,514, 1,778, Pb; 9, 8, Ni; 16, 13, Zn; 3, 6  $\mu\text{g/g}$ , respectively.

Differences of copper and zinc concentrations of coal samples were significant between Gangneung and Taebaek area, but those of iron, nickel and lead concentrations were not significant.

3. Copper, iron, lead, nickel and zinc concentrations of coals and respirable coal dust were as follows: Cu; 30, 6, Fe; 1,779, 5,075, Pb; 8, 7,814, Ni; 13, 5,681, Zn; 5, 134  $\mu\text{g/g}$ , respectively.

Differences of nickel, lead and zinc concentrations were significant between coals

and respirable coal dust, but those of copper and iron concentrations were not significant.

**Key words :** metal analysis, coal, respirable coal dust, atomic absorption spectrophotometry.

## I. 서 론

탄광부 진폐증은 주로 탄광 내에서 발생하는 탄분진의 흡입으로 인하여 질환이 발병되는데, 우리나라에서는 진폐증의 대부분이 석탄광산에 근무하는 광부들에게 발생되어 심각한 건강 장애를 일으킨다. 탄광부 진폐증의 유병율은 석탄광산이 위치한 지역별 및 탄이 함유된 지층에 따라 차이가 있으며(Sorenson 등, 1974), 흡입한 분진의 양 뿐만 아니라 탄에 함유된 원소에 따라서도 달라진다.

탄 중에 함유된 금속에 관한 연구는 여러 저자들에 의해 행해져 왔는데, 대부분 탄에 함유된 금속 분석에 관한 것으로써 금속 농도는 탄의 종류, 탄의 입경과 분석 방법의 차이에 따라 다르다고 하였으며 지역에 따라서도 특정 금속들의 농도가 다르게 나타났다(Goodarzi, 1985; Lehmden, 1974; Lindal 등, 1982; Ondov, 1975; O'Reilly, 1979; Schlesinger, 1976; Sharkey, 1974; Spielholtz, 1966; Struempfer, 1979). 탄 중에 많이 함유되어 있는 원소로는 Freedman 등(1972)에 의하면 Na, Ca, Al, Si, Fe, Ba 등이었고 Abernethy 등(1982)에 의하면 Ag, Cd, Sb, W, Ce 등, Lehmden 등(1974)에 의해서는 V, Mn, Ni, Na, K, Ca, Mg 등이라고 하였다. 또한 탄에 함유된 원소 농도는 같은 입경에서도 실제로 석탄광에서 포집한 분진과 조제한 탄분진과는 차이가 있다고 발표된 바 있으며, 호흡성 탄분진 중의 중금속 함량에 관한 연구에서는 분진중 발견되는 특정 금속들의 중요성을 강조하였고(Hartstein, 1973), 특히 Rawat 등(1982)은 호흡성 탄분진 중에서 발견되는 미량 금속 원소들의 중요성을 진폐증의 인과관계로 강조하였다.

그리고 탄광부 진폐증자의 부검 폐 내에서도 Cr, Fe, Ni, Ti과 같은 금속이 정상인의 부검 폐

내에 함유되어 있는 양보다 더 많다고 하였다(Sweet 등, 1974).

본 연구에서는 강릉 및 태백지역 일부 석탄광산을 선정하여 석탄광산 내에서 발생하는 탄분진의 원인물질인 탄 중의 Cu, Fe, Ni, Pb, Zn 농도를 측정하였으며, 또한 탄을 세 종류의 입경으로 분리하여 입경 간에 함유된 금속 농도에 차이가 있는지 알아보았다.

그리고 태백지역 호흡성 탄분진 중에도 위의 금속들이 함유되어 있는지 알아보았으며, 탄과 탄분진 중에 함유된 Cu, Fe, Ni, Pb, Zn 농도가 차이가 있는지를 알아보았다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사대상 및 시료채취

조사대상은 강릉지역의 18개 석탄광산과 태백지역의 25개 석탄광산이었고 탄시료는 갱구로부터 광차에 실어온 탄들을 쌓아두는 선탄장에서 무작위로 취하였다. 호흡성 탄분진 시료는 태백지역 석탄광산의 막장 중에서 선정하여 근로자의 호흡 영역에 개인용 분진포집기를 부착하여 시료를 포집하였다.

### 2. 기기 및 재료

#### 1) 기기

- (1) Atomic absorption spectrophotometer(AAS) : Model IL 551, 미국.
- (2) Ball mill : 대한과학상사, 국산.
- (3) Electrobalance : Shimadzu Model L-200 SM, 일본, readability 0.01mg
- (4) Ro-tap sieve shaker : C-E Tyler, Inc., 미국.

#### 2) 시약

실험에 사용한 물은 모두 탈이온시킨 재증류수

를 사용하였다.

- (1) 질산 : 중금속 분석용, Merck, 독일, GR.
- (2) 황산 : 중금속 분석용, Merck, 독일, GR.
- (3) 과염소산 : 중금속 분석용, Merck, 독일, GR.
- (4) 납, 철, 니켈, 아연, 구리 표준원액 : 원자 흡수 분석용 표준원액.

### 3) 탄시료 조제

탄의 분쇄 및 스크린은 ball mill과 micro sieve shaker 기기를 사용하였다. 입자경 측정 장치는 입경에 의해 분리되는 미국 표준시험 표준체로 측정하였고, 이때 입자경의 범위는  $-100/+200$  mesh( $147-74 \mu\text{m}$ ),  $-200/+325$ ( $74-44 \mu\text{m}$ ), mesh,  $-325$  mesh( $44 \mu\text{m}$ ) 이하이었다. 시료의 분쇄는 72시간 이상 분쇄하였으며, mesh 크기에 따른 시료는 분석에 충분한 양을 얻을 때까지 하였다.

### 3. 원자 흡수 분광 광도법에 의한 금속 측정

#### 1) 시료 전처리

탄을  $-100/+200$  mesh( $147-74 \mu\text{m}$ ),  $-200/+325$  mesh( $74-44 \mu\text{m}$ ),  $-325$  mesh( $44 \mu\text{m}$ ) 이하 입경으로 분쇄한 것을 건조하지 않고 각각 0.5 g씩 정확히 칭량하였다. 각 시료는 250 ml 등근바닥 플라스크에 넣고 여기에 질산과 황산의 혼산(1:2 v/v)을 10 ml 가하고 플라스크를 흔들어 시료와 산을 잘 혼합시킨 후 가열판 위에서 반응이 너무 격렬하게 일어나지 않도록 가열속도를 조절하면서 반응을 진행하였다. 시료의 회화는 Ellington 등(1951)의 방법에 따랐으며 마지막 용액의 정량을 50 ml로 만들었다. 또한 호흡성

탄분진 시료의 경우에도 마찬가지로 방법으로 습식 회화한 후 전체 용액의 부피를 10 ml로 만든 후 원자 흡수 분광 광도계로 분석하였다.

#### 2) 금속 측정

원자 흡수 분광 광도계의 여러가지 기기 조건 상태를 변화시켜 가면서 납, 철, 니켈, 아연, 구리 표준용액으로 흡광도를 측정하여 최적 기기 조건을 선택하였다(표 1).

#### 3) 표준 검량곡선

최적 기기 조건에서 구리, 니켈, 아연, 납, 철 표준용액에 대한 흡광도를 측정하여 표준 검량곡선을 구하였다(그림 1, 2, 3).

## III. 결과 및 고찰

### 1. 탄의 구리, 납, 니켈, 아연, 철 농도의 입경간 차이

#### 1) 강릉지역 탄의 구리, 납, 니켈, 아연, 철 농도의 입경간 차이

탄시료를  $-100/+200$  mesh( $147-74 \mu\text{m}$ ),  $-200/+325$  mesh( $74-44 \mu\text{m}$ ),  $-325$  mesh 이하( $44 \mu\text{m}$  이하)의 입경으로 분리하여 각각의 입경에 함유되어 있는 금속 농도를 알아보았다.

구리 농도는  $-100/+200$  mesh에서  $20 \mu\text{g/g}$ ,  $-200/+325$  mesh에서  $18 \mu\text{g/g}$ ,  $-325$  mesh 이하에서  $19 \mu\text{g/g}$ 이었고, 철 농도는 각 입경에서 1,830, 1,765, 1,107, 니켈 농도는 17, 17, 14이었으며, 납 농도는 6, 8, 14, 아연 농도는  $4 \mu\text{g/g}$ ,  $2 \mu\text{g/g}$ ,  $4 \mu\text{g/g}$ 으로, 모든 금속의 농도는 입경 간에 유의한 차이가 없었다(표 2).

Table 1. Analytical conditions by atomic absorption spectrophotometer

Conditons	Metals				
	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Wave length(nm)	324.8	248.4	231.8	216.8	213.8
Band width(nm)	1.0	0.3	0.3	1.0	1.0
HC lamp current(mA)	3	8	8	5	3
High voltage(V)	530	700	620	700	530
Aetylene : Oxidant(SCFH)	3 : 12	3 : 12	3 : 12	3 : 12	3 : 12
D <sub>2</sub> lamp current(mA)	8	—	5	8	5

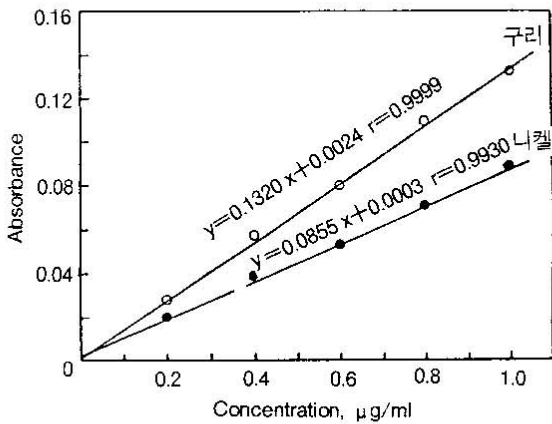


Fig. 1. Standard calibration curves for copper and nickel determination by atomic absorption spectrophotometer

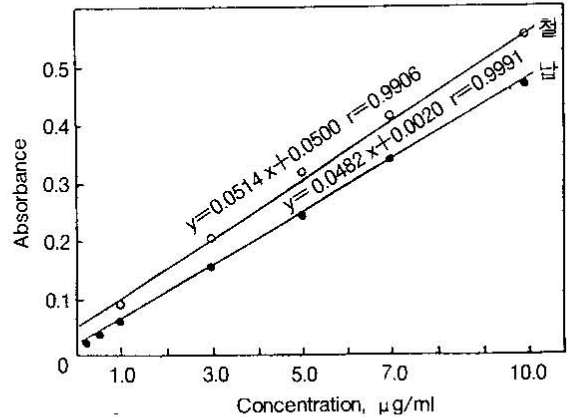


Fig. 3. Standard calibration curves for iron and lead determination by atomic absorption spectrophotometer

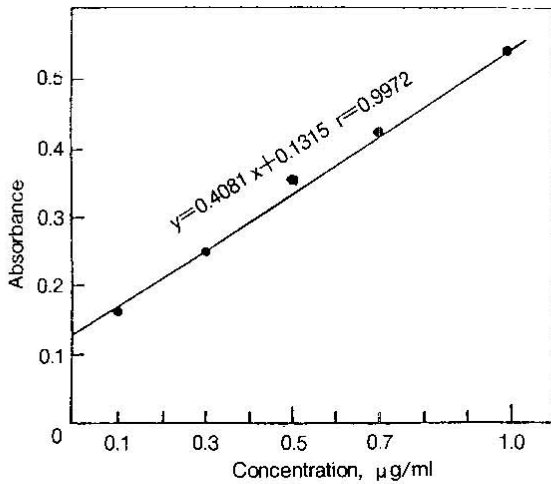


Fig. 2. Standard calibration curve for zinc determination by atomic absorption spectrophotometer

2) 태백지역 탄의 구리, 납, 니켈, 아연, 철 농도의 입경간 차이

각 입경 간에 탄 중에 함유된 구리, 철, 니켈, 납, 아연의 농도가 차이가 있는 지를 알아보았다.

구리 농도는 -100/+200 mesh에서 30 µg/g, -200/+325 mesh에서 32 µg/g, -325 mesh 이하에서 26 µg/g이었고, 철 농도는 각 입경에서 1,741, 1,822, 1,773, 니켈 농도는 13, 13, 13이었고, 납 농도는 8, 9, 7, 아연 농도는 8 µg/g, 5 µg/g, 4 µg/g으로, 모든 금속 농도는 강릉지역과 마찬가지로 입경 간에 유의한 차이가 없었다(표 3).

Crable 등(1968)에 의하면 입경을 250 µm 이상, 44 µm이하, 3.3-5.5 µm, 1.0 µm 이하로

Table 2. Comparison of Cu, Fe, Ni, Pb and Zn concentrations in coals in Gangneung area by sieve size

Metals	Cases	Concentrations by sieve size(mesh)						F-value
		-100/+200		-200/+325		-325		
		M <sub>g</sub>	σ <sub>g</sub>	M <sub>g</sub>	σ <sub>g</sub>	M <sub>g</sub>	σ <sub>g</sub>	
Cu	18	20	2.3	18	2.1	19	2.9	0.13
Fe	18	1,830	1.3	1,765	1.3	1,107	6.0	1.26
Ni	18	17	2.3	17	1.8	14	2.5	0.42
Pb	18	6	3.1	8	2.6	14	2.4	3.04
Zn	18	4	3.9	2	3.4	4	4.8	1.41

$M_g$ : Geometric mean, µg/g

$\sigma_g$ : Geometric standard deviation

나누어 이에 따른 금속의 농도를 구한 결과, Pittsburgh 지층의 탄일 경우 니켈과 아연은 입경에 관계없이 10 ppm, 구리는 입경이 작을수록 농도가 높았고, 납은 1.0  $\mu\text{m}$ 에서 월등히 높다고 하였으며, Coles 동(1979)은 구리, 니켈, 아연은 입자 크기가 작을수록 농도가 높다고 하였는데, 본 연구에서 입경 간에 구리, 납, 니켈, 아연, 철 농도는 유의한 차이가 없었다.

## 2. 탄의 구리, 납, 니켈, 아연, 철 농도의 지역 간 차이

표 2, 3에서 강릉과 태백지역에서 탄 중에 함유된 구리, 철, 니켈, 납, 아연의 경우 입경 간에 농도의 유의한 차이가 없었으므로 두 지역 간에 구리, 철, 니켈, 납, 아연 농도가 차이가 있는지 t-test 한 결과 표 4와 같다.

강릉 및 태백지역 탄층 납 농도는 각각 9  $\mu\text{g/g}$ , 8  $\mu\text{g/g}$ 이었고, 철 농도는 각 지역에서 1,514, 1,778, 니켈 농도는 16, 13, 아연 농도는 3, 6이었고, 구리 농도는 각각 19  $\mu\text{g/g}$ , 30  $\mu\text{g/g}$ 이

었다. 아연과 구리 농도는 강릉과 태백지역 간에 유의한 차이가 있었으며 납, 니켈, 철은 두 지역 간에 유의한 차이가 없었다. 아연과 구리는 탄이 함유된 지층에 따라 탄에 함유된 농도가 달랐다.

Kessler 등(1971)에 의하면 같은 입경일지라도 지역이 다를 경우 농도가 다르다고 하였는데 본 연구에서는 구리와 아연 농도는 같은 결과를 보였지만, 납, 니켈, 철은 다른 결과를 나타내었다.

## 3. 구리, 납, 니켈, 아연, 철 농도의 탄과 탄분진 간의 차이

탄과 탄분진 시료 간에 구리, 철, 니켈, 납, 아연 농도가 차이가 있는지 t-test 한 결과 표 5와 같다.

납 농도는 탄시료에서 8  $\mu\text{g/g}$ , 탄분진 시료에서 7,814  $\mu\text{g/g}$ 이었고, 철 농도는 각 시료에서 1,779, 5,075이었고, 니켈 농도는 13, 5,681, 아연 농도는 5, 134, 구리 농도는 30  $\mu\text{g/g}$ , 6  $\mu\text{g/g}$ 이었다. 납, 니켈, 아연 농도는 탄과 호흡성 탄분

**Table 3.** Comparison of Cu, Fe, Ni, Pb and Zn concentrations in coals in Taebaek area by sieve size

Metals	Cases	Concentrations by sieve size(mesh)						F-value
		-100/+200		-200/+325		-325		
		M <sub>g</sub>	σ <sub>g</sub>	M <sub>g</sub>	σ <sub>g</sub>	M <sub>g</sub>	σ <sub>g</sub>	
Cu	25	30	1.7	32	1.7	26	1.9	0.96
Fe	25	1,741	1.2	1,822	1.1	1,773	1.1	0.78
Ni	25	13	1.5	13	1.5	13	1.9	0.02
Pb	25	8	2.2	9	2.0	7	2.7	0.70
Zn	25	8	4.6	5	4.4	4	3.9	1.45

$M_g$ : Geometric mean,  $\mu\text{g/g}$

$\sigma_g$ : Geometric standard deviation

**Table 4.** Comparison of Cu, Fe, Ni, Pb and Zn concentrations by sampling area

Area	Cases	Pb		Fe		Ni		Zn		Cu	
		$M_g$	$\sigma_g$	$M_g$	$\sigma_g$	$M_g$	$\sigma_g$	$M_g$	$\sigma_g$	$M_g$	$\sigma_g$
Gangneung	54	9	2.8	1,514	2.9	16	2.2	3	4.1	19	2.4
Taebaek	75	8	2.3	1,779	1.1	13	1.6	6	4.4	30	1.8
t-value		0.72		-1.04		1.53		-2.07*		-3.33*	

$M_g$ : Geometric mean,  $\mu\text{g/g}$

$\sigma_g$ : Geometric standard deviation

\*  $p < 0.05$

Table 5. Comparison of Cu, Fe, Ni/ Pb and Zn concentrations by sample type

Sample type	Cases	Pb		Fe		Ni		Zn		Cu	
		$M_g$	$\sigma_g$	$M_g$	$\sigma_g$	$M_g$	$\sigma_g$	$M_g$	$\sigma_g$	$M_g$	$\sigma_g$
Coal	75	8	2.3	1,779	1.1	13	1.6	5	4.4	30	1.8
Respirable coal dust	15	7,814	1.7	5,075	12.6	5,681	1.5	134	27.0	6	21.4
t-value		-30.20*		-1.60		-45.49*		-3.69*		2.06	

$M_g$ : Geometric mean,  $\mu g/g$

$\sigma_g$ : Geometric standard deviation

\* $p < 0.05$

진 간에 유의한 차이가 있었고, 철과 구리 농도는 탄과 호흡성 탄분진 간에 유의한 차이가 없었다. 호흡성 탄분진중 구리는 15개 시료 중에 4개 시료에서 검출되었고 아연은 11개 시료에서 검출되었으며, 철은 14개, 납과 니켈은 15개 시료 모두 검출되었다. 납, 니켈, 아연이 특히 탄 보다 호흡성 탄분진 중에 더 많이 함유되어 있는 것으로 나타났으며 철은 탄과 탄분진에 다같이 많이 함유되어 있는 것으로 나타났는데 이것은 납, 니켈, 아연이 호흡성 분진 입경으로 더 많이 생성되기 때문인 것 같다. Rawat 등(1982)은 호흡성 탄분진에서 발견되는 특정 금속들의 중요성을 강조하였고, 특히 아연, 카드뮴, 구리, 니켈이 호흡성 탄분진 크기에서 더 위험한 오염물질일 수 있다고 하였는데 본 연구 결과 아연과 니켈 농도는 호흡성 탄분진 시료 중에 더 높게 나타났다.

Crable 등(1968)에 의하면 입경 250  $\mu m$  이상, 14  $\mu m$  이하, 3.3-5.5  $\mu m$ , 1.0  $\mu m$  이하에 함유된 금속의 농도는, Pittsburgh 지층의 탄일 경우 납 농도는 1.0  $\mu m$ 에서 월등히 높다고 하였는데 본 연구에서도 납은 탄보다 호흡성 분진 시료에 많이 함유되어 있는 것으로 나타났다. 니켈과 아연은 입경에 관계없이 10 ppm이라고 하였으며, 구리는 입경이 작을수록 농도가 높다고 하였는데 (Crable 등, 1968), 실험 결과 니켈과 아연은 탄 보다 입경이 작은 호흡성 탄분진 중에 많이 함유되어 있는 것으로 나타났으며, 구리는 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 Coles 등(1979)은 구리, 니켈, 아연은 입자 크기가 작을수록 농도가 높다고 하였는데, 본 연구에서는 니켈, 아연 농도는 같은 결과였고, 구리의 경우에는 탄과 탄분

진 간에 농도의 차이가 없는 것으로 나타났는데 분석 가능한 분진시료의 수가 적었다. 탄 중 납은 호흡성 탄분진 보다 적게 함유되어 있는 것으로 나타났는데, Sharkey 등(1972), Lehmden 등(1974)의 결과와 유사하였다.

분진 중에 니켈은 50 ppm, 구리는 20, 아연은 10, 납은 2 ppm이 들어 있다고 하였으며 광산의 대기가 탄분진 뿐만 아니라 다른 암석 분진, 탄산칼슘, slate를 가질 수 있기 때문에 같은 입경 일지라도 다른 조성을 가질 수 있다고 하였고 또한 사망한 역청탄 광부의 폐 내에 Ag, B, Ba, V 등과 같은 특정 원소의 농도가 높았고 이런 원소들이 호흡성 분진에 많이 포함되어 있다고 하였다(Crable 등, 1968). 이상과 같이 특정 원소들이 탄의 성분원소로서 보다 호흡성 분진 입경으로 더 많이 생성되어 기중에 오래 머무르기 때문에 소 사료된다.

#### IV. 결 론

강릉지역 18개 석탄광산과 태백지역 25개 석탄광산의 탄 및 태백지역 석탄광산의 호흡성 탄분진 중의 구리, 철, 니켈, 납, 아연 농도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 강릉지역 탄의 각 입경간 구리 농도는 -100/+200 mesh 입경에서 20  $\mu g/g$ , -200/+325 mesh에서 18  $\mu g/g$ , -325 mesh 이하에서 19  $\mu g/g$ 이었고, 철 농도는 각 입경에서 1,830, 1,765, 1,107, 니켈 농도는 17, 17, 14, 납 농도는 6, 8, 14, 아연 농도는 4  $\mu g/g$ , 2  $\mu g/g$ , 4  $\mu g/g$ 이었다. 태백지역 탄의 각 입경간 구리 농도는



-100/+200 mesh에서 30  $\mu\text{g/g}$ , -200/+325 mesh에서 32  $\mu\text{g/g}$ , -325 mesh에서 26  $\mu\text{g/g}$ 이었고, 철 농도는 각 입경에서 1,741, 1,822, 1,773, 니켈 농도는 13, 13, 13이었고, 납 농도는 8, 9, 7이었으며, 아연 농도는 8  $\mu\text{g/g}$ , 5  $\mu\text{g/g}$ , 4  $\mu\text{g/g}$ 이었다.

강릉 및 태백지역 탄중 입경 간에 구리, 철, 니켈, 납, 아연 농도는 유의한 차이가 없었다.

2. 강릉 및 태백지역 탄 중에 함유된 구리 농도는 각각 19  $\mu\text{g/g}$ , 30  $\mu\text{g/g}$ 이었고 철의 농도는 1, 514, 1,779, 니켈 농도는 16, 13, 납 농도는 9, 8, 아연 농도는 3  $\mu\text{g/g}$ , 6  $\mu\text{g/g}$ 이었다. 강릉 및 태백지역 간에 구리와 아연 농도는 유의한 차이가 있었고, 철, 니켈, 납 농도는 유의한 차이가 없었다.

3. 태백지역 석탄광산의 탄 및 호흡성 탄분진 중의 구리 농도는 각각 30  $\mu\text{g/g}$ , 6  $\mu\text{g/g}$ 이었고 철 농도는 1,779, 5,075, 니켈 농도는 13, 5,681, 납 농도는 8, 7,814, 아연 농도는 5  $\mu\text{g/g}$ , 134  $\mu\text{g/g}$ 으로, 탄과 탄분진 간에 납, 니켈, 아연 농도는 유의한 차이가 있었으며, 철과 구리 농도는 유의한 차이가 없었다.

## 참 고 문 헌

- Abernethy RF, Peterson MJ, Gibson FH: *Spectrochemical analyses of coal ash for trace elements. Bureau of Mines, Report of Investigations 7281. U.S. pp.1-30*
- Coles DG et al: *Chemical studies of fly ash from a coal-fired power plant. Environ Sci Tech 1979; 13: 455-459*
- Crabbe JV et al: *Metal and mineral concentrations in lungs of bituminous coal miners. Am Ind Hyg Assoc J 1968; 29: 106-110*
- Ellington F et al: *Determination of phosphorus in coal. Fuel 1951; 30: 272-274*
- Freedman RW, Sharkey AG: *Recent advances in the analysis of respirable coal dust for free silica, trace elements, and organic constituents. Ann NY Acad Sci 1972; 200: 7-16*
- Goodarzi F, Foscolos AE, Cameron AR: *Mineral matter and elemental concentrations in selected western Canadian coals. Fuel 1985; 64: 1,599-1,605*
- Hartstein AM, Freedman RW, Platter DW: *Novel wet-digestion procedure for trace-metal analysis of coal by atomic absorption. Anal Chem 1973; 45: 611-614*
- Kessler T, Sharkey AG, Friedel RA: *Spark-source mass spectrometer investigation of coal particles and coal ash. U.S. Department of the Interior 1971; Bureau of Mines Respirable Dust Research Program Technical Progress Report 42: 1-15*
- Lindahl PC, Bishop AM: *Determination of trace elements in coal by an oxygen bomb combustion/atomic absorption spectrophotometric method. Fuel 1982; 61: 658-662*
- Ondov JM et al: *Elemental concentrations in the National Bureau of Standards' environmental coal and fly ash standard reference materials. Anal Chem 1975; 47: 1, 102-1, 109*
- O'Reilly JE, Hicks DG: *Slurry-injection atomic absorption spectrometric and x-ray studies of respirable dusts in Indian coal mines. Anal Chem 1979; 51: 1,905-1,915*
- Rawat NS, Sinha JK, Sahoo B: *Atomic absorption spectrophotometric and X-ray studies of respirable dusts in Indian coal mines. Arch Environ Health 1982; 37: 32-35*
- Sharkey AG, Kessler T, Friedel RA: *Trace elements in coal dust by spark-source mass spectrometry. Trace Elements in Fuel. Chicago. 1974, pp.23-73*
- Sorenson JRJ et al: *The concentration of Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn in bituminous coals from mines with differing incidences of coal workers' pneumoconiosis. Am Ind Hyg Assoc J 1974; 35: 93-98*
- Sweet DV et al: *The relationship of total dust, free silica, and trace metal concentrations to the occupational respiratory disease of bituminous coal miners. Am Ind Hyg Assoc J 1974; 35: 479-488*
- Lehmden DJ, Jager RH, Lee RE.: *Determination of trace elements in coal fly ash, fuel oil, and gasoline-A preliminary comparison of selected analytical techniques. Anal Chem 1974; 46: 239-245*