

탄광부 진폐증자의 폐조직내 금속농도

근로복지공사 직업병연구소

최 호춘 · 정 호근 · 김 해정 · 전 향숙 · 이 관형

—Abstract—

Metal Concentrations in Lungs of Coal Workers' Pneumoconiosis Patients

Ho Chun Choi, Ho Keun Chung, Hae Jeong Kim, Hyang Sook Chun, Gwan Hyeong Yi

Institute of Occupational Diseases, Korea Labour Welfare Corporation

The metal concentrations in lungs from 12 coal workers' pneumoconiosis(CWP) patients and 6 controls, who were not exposed occupationally to coal mine dust and metals during their life time, were analyzed by atomic absorption spectrophotometry.

1. Copper, lead, nickel, magnesium, manganese, zinc and iron concentrations in lungs of CWP patients were 1.10 ± 0.088 , 1.12 ± 0.068 , 0.22 ± 0.020 , 113.7 ± 1.31 , 0.19 ± 0.012 , 10.2 ± 1.54 , 426.7 ± 2.63 $\mu\text{g/g}$ wet weight.

2. Copper, lead, nickel, magnesium, manganese, zinc and iron concentrations in lungs of controls were 1.10 ± 0.013 , 0.85 ± 0.007 , 0.10 ± 0.008 , 87.6 ± 1.29 , 0.18 ± 0.005 , 10.6 ± 1.44 , 164.9 ± 3.29 $\mu\text{g/g}$ wet weight.

3. The ratios of concentrations for copper, lead, nickel, magnesium, manganese, zinc, and iron in lungs for CWP patients and controls were 1 : 1, 1.32 : 1, 2.20 : 1, 1.30 : 1, 1.06 : 1, 0.92 : 1, 2.58 : 1, respectively.

There were significant differences in concentrations of lead, nickel, magnesium, iron by group($p < 0.05$).

4. There was no significant difference in metal concentrations of right upper lobe, right lower lobe, left upper lobe and left lower lobe for both CWP patients and controls ($p > 0.05$, $p > 0.05$).

5. In CWP patients, lead was well correlated with nickel showing a rank correlation coefficient of 0.533, and zinc was correlated with copper showing a rank correlation coefficient of 0.476.

6. The concentrations of copper, nickel, manganese, and zinc in Korean CWP patients were lower than those in foreign CWP patients.

Key words : Coal workers' pneumoconiosis—Metal concentrations in lungs—Cu, Pb, Ni, Mg, Mn, Zn, Fe

하였다.

I. 서 론

탄광부 진폐증(Coal workers' pneumoconiosis, CWP)은 폐내의 탄분진 축적과 이로 인한 조직의 반응으로서, 폭로시 흡입된 분진의 농도, 분진의 물리적 성상, 암석 성분의 차, 탄분진의 화학적 성분 등이 영향을 미친다. 분진의 물리적 성상이 근로자의 건강장해를 일으키는 물질로는 석탄이나 암석 중에 포함된 석영의 예를 들 수 있으며, 탄분진의 화학적 영향으로는 탄소 및 각종 금속을 함유한 복합적인 광물질로 광산의 지질학적인 차이를 고려하지 않을 수 없다. 또한 폐포내로 흡입되는 입자크기는 거의 $0.5-5.0 \mu\text{m}$ 이나 분진의 밀도차에 의한 낙하속도에 따라 부위별로 침착되는 분진의 성분 및 양이 달라 광부들의 폐내에 함유된 금속 성분에 영향을 미칠 수 있다고 사료된다.

여러학자들에 의하면 역청탄광부의 폐조직에 함유된 철, 구리, 티타늄, 바나듐, 니켈 및 다른 중금속들이 정상인 보다 더 높다고 하였으며, 비정상적으로 높은 금속 함유량은 석탄 광부 진폐증의 유병율과 상관관계가 있다고 하였다(Keenan 등, 1971; Sweet 등, 1974). Bergman 등(1972)은 단순 진폐증자의 폐내에 함유된 철의 양이 갯내 근속년수, 폐조직의 석탄 및 무기물 함유량과 관계가 있다고 하였으며, Sorenson 등(1974)은 진폐 유병율이 높은 펜실베이니아 광산이 유병율이 낮은 유타 광산보다 석탄에 함유된 구리, 철, 니켈, 납 및 아연 농도가 높다고 하였다. 이와 같이 폐조직에 함유된 각종 중금속 및 무기물이 진폐증의 병리학적인 진단에 부수적인 가치를 지니고 있다.

외국의 광산은 주로 역청탄광인 반면에 우리나라는 무연탄광으로 지질학적 차이가 있으며, 또한 탄광부 진폐증자의 폐조직내 금속 성분에 관한 분석이 전혀 되어 있지 않은 상태이다.

그리하여 본 연구는 탄광부 진폐증자의 폐속에 함유된 금속 성분이 탄광에 근무한 적이 없는 비분진 대조집단과 차이가 있는지, 그리고 외국의 역청탄 광부들의 폐조직 중 금속 농도값과 비교

II. 연구방법

1. 연구재료

탄광부 진폐증자의 폐조직은 1989년 6월부터 12월까지 J병원에서 진폐증자의 부검시 얻은 시료로서, 탄광부 진폐증자의 평균 연령은 49 ± 6.8 세이며, 탄광 근무 경력은 19 ± 3.1 년이다. 작업 부서는 굴진부나 채탄부로서 갯내 근로 작업자이며 총 12구에서 폐조직 일부분을 적출하였다. 이때 폐조직은 우상엽, 우하엽, 좌상엽, 좌하엽으로 분류하여 각각 약 10 g씩 적출하였다.

비분진 폭로 대조군으로는 탄광 근무 경력이 없으며, 약물 중독이나 중금속에 노출된 적이 없는, 갑자기 희생된 자로서 1989년 9월부터 12월까지 N연구소에서 실시한 부검체 6구에서 폐조직 일부분을 적출하였다. 평균 연령은 47 ± 13.4 세이며 탄광부 진폐증자의 폐조직과 마찬가지로 우상엽, 우하엽, 좌상엽, 좌하엽으로 분류하여 약 10 g씩 적출하였다.

각각 적출된 시료들은 polyethylene 병에 넣어 -70°C 이하의 초저온 냉동기에 저장하였다.

2. 폐조직의 전처리 및 분석방법

탄광부 진폐증자와 대조군의 폐조직은 우상엽, 우하엽, 좌상엽 및 좌하엽을 각각 5g씩 정확히 칭량하여 습식 무게(wet weight)로 산정한 후, 스텐레스 가위로 잘게 조각을 내어 건조기에서 $85-90^\circ\text{C}$ 로 40-48시간 건조시켰다. 건조된 폐조직은 다시 유기물질을 완전히 파괴시키기 위해 석영판 위에 놓아 저온도 라디오파 회화기의 반응 용기 속에 넣었으며, 회화기는 우선 진공펌프를 사용하여 반응용기 속을 진공상태로 만든 후, 고주파(13.56 MHz)를 발생시키며, 다시 산소를 공급하여 플라스마를 형성시켜 유기물질을 150°C 에서 완전히 파괴시키도록 하였다. 이때 사용한 저온도 라디오파 회화기(low temperature radio-frequency asher, LTA; Model RFG-500, Yamato)의 기기 조건 상태는 Table 1과 같다.

저온도 라디오파 회화기에 의해 완전히 회화시

Table 1. Operating conditions of low temperature radiofrequency asher.

Dried lung quantity (g)	Out put (watt)	Oxygen flow rate (cc/min)	Hours necessary for treatment (hour)
0.50-1.80	300	100	16

킨 폐조직 시료(ashed lung)는 6N 염화수소 용액 1.0-1.5 ml로 용해시킨 후 0.025 % Triton X-100으로 희석하여 10 ml의 폐조직 용액(원액)을 만들었다.

폐조직 중 마그네슘 농도는 300배, 철은 30배, 아연은 20배 희석하였으며 구리, 납, 니켈 및 망간은 폐조직 원액을 사용하여 원자흡수 분광기기 (atomic absorption spectrophotometer; Model 551, Instrumentation Laboratory Co.)에 의해 각각의 금속 농도를 분석하였다.

3. 표준검량곡선에 의한 금속 농도 결정

0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 $\mu\text{g/ml}$ 의 구리, 납, 아연 표준용액을 각각 x축, 구리, 납, 아연의 흡광도를 각각 y축으로 하여 1차 회귀직선을 표준검량곡선으로 하였으며(Fig. 1), 니켈 및 망간은 0.025, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5 $\mu\text{g/ml}$ 를 위와 같이 각각 x축으로 하여 y축은 흡광도의 측정값으로 하였으며, 마그네슘은 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3 $\mu\text{g/ml}$ 로(Fig. 2), 철은 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 9.0 $\mu\text{g/ml}$ 로 각각 x축, 그리고 각각의 흡광도를 y축으로 하여 위와 같이 1차 회귀직선을 표준검량

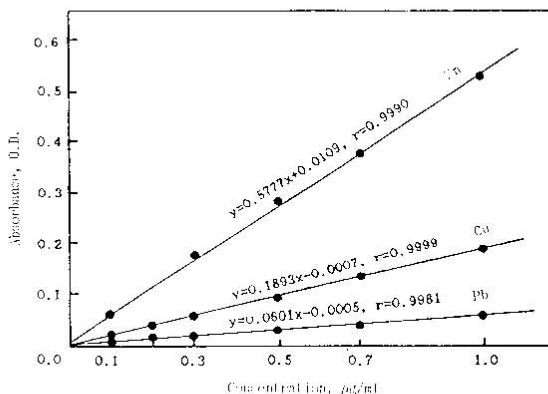


Fig. 1. Standard calibration curves for Zn, Cu, Pb determinations by flame atomic absorption spectrophotometry.

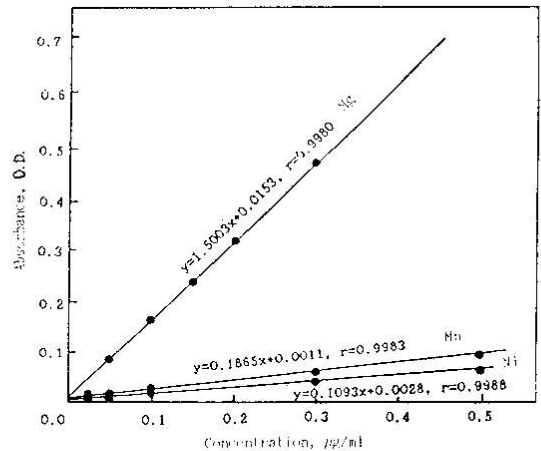


Fig. 2. Standard calibration curves for Mg, Mn, Ni determinations by flame atomic absorption spectrophotometry.

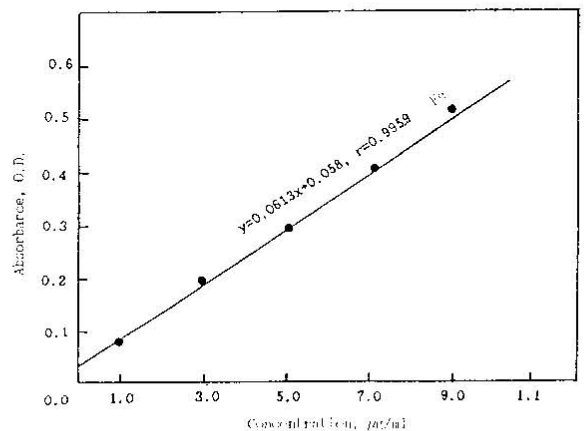


Fig. 3. Standard calibration curve for Fe determination by flame atomic absorption spectrophotometry.

곡선으로 만들었다(Fig. 3).

폐조직에 함유된 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연, 철 농도는 위의 II. 2.와 같이 표준검량곡선에 맞게 희석하여 흡광도를 측정 한 후, 표준검량곡선에 의해 각각의 농도를 계산하였다.

4. 통계 분석 방법

폐조직 중 금속 농도 측정을 위한 전처리 과정인 과거의 습식 회화법과 본 실험에서 사용된 저온도 라디오파 회화법의 비교는 1개의 시료를 4회 반복 측정하여 짝지워진 t-test를 하였다.

탄광부 진폐증자와 대조군의 폐조직에 함유된 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 아연, 철 농도의 측정값의 범위가 넓어 마그네슘, 아연, 철 농도를 대수변환시켰으며, 구리와 망간은 측정값 중 1이하 ($\mu\text{g/g}$ wet weight)의 소숫점 값이 나타나 평방근 변환을 하였으며, 불검출이 나타난 납 및 니켈은 각각 0.5, 0.05를 더하여 평방근 변환을 시켰다. 이와 같이 변수변환된 값으로 탄광부 진폐증자와 대조군의 폐조직에 함유된 금속 성분을 비교할 때는 비모수 검정에 의한 Mann-Whitney test를 하였으며, 탄광부 진폐증자 및 대조군의 우상엽, 우하엽, 좌상엽, 좌하엽에 따른 폐조직 부위별 금속 농도에 차이가 있는지 보기 위하여 Kruskal-Wallis 일원 변량 분석을 하였다. 또한 탄광부 진폐증자와 대조군의 폐조직에 함유된 금속 성분간의 상관관계가 있는지 보기 위하여 Spearman ρ test에 의한 순위 상관계수를 계산하였다.

III. 연구결과

1. 저온도 라디오파 회화(LTA)법과 습식 회화법에 의한 금속 농도의 비교

강산에 의한 습식회화는 김해정과 최호춘(1988)과 같은 방법으로 폐조직 중 유기물질을

파괴시켰으며, 저온도 라디오파에 의한 건식회화는 위의 연구 방법과 같이 시료를 회화하였다. 이때 두 방법에 대한 비교는 1개의 시료를 4회 반복 측정하여 짝지워진 t-test를 하였다(Table 2).

2. 탄광부 진폐증자와 비분진 폭로 대조군의 폐조직에 함유된 금속 농도의 비교

탄광부 진폐증자와 비분진 폭로 대조군의 폐조직 중 금속 농도는 Table 3과 같이 금속마다 농도 범위가 다양하였으며, 또한 같은 금속일지라도 농도 범위가 컸다.

그리하여 본 연구에서는 탄광부 진폐증자와 대조군 폐조직의 금속 농도 비교에 있어서 철, 아연, 마그네슘은 대수변환하였으며, 농도값이 낮은 구리, 납, 니켈, 망간은 평방근 변환을 시켜 두 그룹을 비교하였다(Table 4).

탄광부 진폐증자와 비분진 폭로 대조군 폐조직에 함유된 구리는 각각 1.10 ± 0.088 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 1.10 ± 0.013 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 납은 각각 1.12 ± 0.068 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 0.85 ± 0.007 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 니켈은 각각 0.22 ± 0.020 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 0.10 ± 0.008 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 마그네슘은 각각 113.7 ± 1.31 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 87.6 ± 1.29 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 망간은 각각 0.19 ± 0.012 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 0.18 ± 0.005 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 철은 각각 426.7 ± 2.63 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 164.9 ± 3.29 $\mu\text{g/g}$ wet weight로, 두 그룹을 비모수 검정에 의한 Mann-Whitney test 결과, 폐조직 중 납, 니켈, 마그네슘, 철 농도는 두 그룹간에 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 구리, 망간, 아연은 유의한 차이가 없었다

Table 2. Comparison of metal concentrations by LTA and wet digestion method.

Metal	n	LTA†	Wet digestion †	t-value
		($\mu\text{g/g}$ wet weight)	($\mu\text{g/g}$ wet weight)	
Cu	4	1.04 ± 0.020	0.47 ± 0.011	3.12
Pb	4	0.73 ± 0.000	0.86 ± 0.040	-0.71
Ni	4	0.09 ± 0.012	0.18 ± 0.013	-1.43
Mg	4	99.5 ± 1.53	154.3 ± 3.33	-0.98
Mn	4	0.24 ± 0.002	0.12 ± 0.015	1.94
Zn	4	12.22 ± 1.361	8.39 ± 1.297	2.09
Fe	4	376.7 ± 1.40	356.3 ± 1.17	0.48

† : Mean \pm Standard Deviation

Table 3. Ranges of metal concentrations in lungs of CWP patients and controls.

Metal	CWP patients		Controls	
	No. of sample	Range ($\mu\text{g/g}$ wet weight)	No. of sample	Range ($\mu\text{g/g}$ wet weight)
Cu	12	0.07— 3.12	6	0.64— 1.44
Pb	12	ND — 3.71	6	0.18— 0.70
Ni	12	ND — 0.82	6	ND — 0.19
Mg	12	65.4 — 216.3	6	60.5 — 155.1
Mn	12	0.03— 0.45	6	0.09— 0.29
Zn	12	3.6 — 30.7	6	6.0 — 24.0
Fe	12	8.2 — 2,132.8	6	6.8 — 460.8

ND : Not Detected

Table 4. Comparison of metal concentrations in lungs of CWP patients and controls.

Metal	CWP patients		Controls		Z-value
	No. of sample	Concentrations † ($\mu\text{g/g}$ wet weight)	No. of sample	Concentrations † ($\mu\text{g/g}$ wet weight)	
Cu	12	1.10±0.088	6	1.10±0.013	-0.09
Pb	12	1.12±0.068	6	0.86±0.007	-2.17*
Ni	12	0.22±0.020	6	0.10±0.008	-4.38*
Mg	12	113.7 ±1.31	6	87.6 ±1.29	-3.79*
Mn	12	0.19±0.012	6	0.18±0.005	-0.67
Zn	12	10.2 ±1.54	6	10.6 ±1.44	-0.12
Fe	12	426.7 ±2.63	6	164.9 ±3.29	-4.23*

† : Mean±Standard Deviation

Fe, Zn, Mg : Antilogarithmic Value

Cu, Pb, Ni, Mn : Antisquare root Value

* : $p < 0.05$

($p > 0.05$).

탄광부 진폐증자의 폐조직 중 금속 농도를 대조군에 비례하여 농도비로 표시하면 Table 5와 같다.

구리는 1 : 1, 납은 1.32 : 1, 니켈은 2.20 : 1, 마그네슘은 1.30 : 1, 망간은 1.06 : 1, 아연은 0.92 : 1, 철은 2.58 : 1로 보여 주었으며, 특히 대조군에 비하여 탄광부 진폐증자의 폐조직에 함유된 철 농도는 높았다.

Table 5. Ratio of concentrations for metals of CWP patients lungs to controls

Metal	Ratio(CWP : controls)
Cu	1 : 1
Pb	1.32 : 1
Ni	2.20 : 1
Mg	1.30 : 1
Mn	1.06 : 1
Zn	0.92 : 1
Fe	2.58 : 1

3. 탄광부 진폐증자와 대조군 폐조직의 부위별 금속 농도의 차이

폐조직을 부위별로 우상엽, 우하엽, 좌상엽, 좌하엽으로 분류하였으며, 폐조직 위치에 따라 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연 및 철 농

도를 Kruskal-Wallis 일원 변량 분석에 의해 비교하였다 (Table 6, Table 7).

탄광부 진폐증자 폐조직에 있어서 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연 및 철 농도는 우상엽, 우하엽, 좌상엽, 좌하엽에 따라 모두 차이가

없었으며($p>0.05$), 대조군의 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연 및 철 농도에서도 폐조직 부위별에 따라 차이가 없었다($p>0.05$).

4. 탄광부 진폐증자와 비분진 폭로 대조군의 폐조직 중 금속 농도에 따른 상관관계

탄광부 진폐증자의 폐조직에 함유된 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연 및 철 농도들의 상호 관련성을 보기 위하여 Spearman ρ test에 의한 상관계수를 보았다(Table 8).

이때 니켈은 납과 상관계수가 0.533으로 비교적 높은 상관을 보였으며, 아연과 구리는 0.476으로 상관을 보였다. 반면에 Table 9에서와 같이 대조군의 폐조직에 함유된 금속 간의 상관계수를 보면 마그네슘과 구리는 0.616, 망간과 구리는

0.547, 망간과 마그네슘은 0.598, 아연과 망간은 0.526, 철은 0.474, 탄광부 진폐증자와 대조군의 폐조직에 함유된 금속 간의 상관관계는 다른 양상을 보였다.

5. 한국과 외국의 탄광부 진폐증자와 정상인의 폐조직 중 금속 농도의 비교

외국의 역청탄광에서 근무하였던 광부들 중 진폐증자의 폐조직에 함유된 금속농도와 비교해 보기 위하여 우선 다른 저자들과 같은 건물중량 단위를 사용하였다.

이때 폐조직은 85-90℃의 건조기에서 2-3일 동안 건조시켜 수분을 78-90% 제거시킨 상태를 건조된 폐조직의 무게로 하였다. 건조된 폐조직의 무게는 거의 변화가 없는 상태로 직시천평에

Table 6. The difference of metal concentrations by right upper, right lower, left upper and left lower position in CWP patients lungs

Metal	No. of Sample	Concentrations($\mu\text{g/g}$ wet weight) [†]				χ^2 -Value
		Right upper lobes	Right lower lobes	Left upper lobes	Left lower lobes	
Cu	12	1.05 \pm 0.073	0.91 \pm 0.117	1.02 \pm 0.104	0.14 \pm 0.061	1.78
Pb	12	1.12 \pm 0.056	1.16 \pm 0.135	1.18 \pm 0.069	1.02 \pm 0.028	0.44
Ni	12	0.24 \pm 0.012	0.22 \pm 0.020	0.24 \pm 0.036	0.17 \pm 0.015	2.29
Mg	12	118.3 \pm 1.34	119.4 \pm 1.32	120.4 \pm 1.24	98.4 \pm 1.29	3.51
Mn	12	0.22 \pm 0.013	0.18 \pm 0.014	0.20 \pm 0.008	0.17 \pm 0.013	1.08
Zn	12	8.6 \pm 1.52	10.5 \pm 1.56	12.9 \pm 1.45	9.4 \pm 1.56	5.25
Fe	12	565.7 \pm 1.82	604.1 \pm 1.45	323.6 \pm 3.19	299.8 \pm 3.70	4.30

[†] : Mean \pm Standard Deviation

Table 7. The difference of metal concentrations by right upper, right lower, left upper and left lower position in lungs of controls

Metal	No. of Sample	Concentrations($\mu\text{g/g}$ wet weight) [†]				χ^2 -Value
		Right upper lobes	Right lower lobes	Left upper lobes	Left lower lobes	
Cu	6	1.05 \pm 0.009	1.02 \pm 0.017	1.18 \pm 0.007	1.14 \pm 0.022	2.04
Pb	6	0.85 \pm 0.006	0.86 \pm 0.011	0.79 \pm 0.002	0.90 \pm 0.013	0.75
Ni	6	0.08 \pm 0.003	0.10 \pm 0.009	0.12 \pm 0.015	0.09 \pm 0.008	1.65
Mg	6	80.5 \pm 1.16	82.2 \pm 1.25	101.5 \pm 1.30	87.6 \pm 1.39	1.78
Mn	6	0.16 \pm 1.55	0.16 \pm 0.009	0.19 \pm 0.004	0.19 \pm 0.007	1.11
Zn	6	10.6 \pm 1.55	9.2 \pm 1.16	11.6 \pm 1.46	11.0 \pm 1.61	1.35
Fe	6	164.1 \pm 4.84	131.0 \pm 2.79	243.1 \pm 2.31	141.6 \pm 4.15	1.25

[†] : Mean \pm Standard Deviation

Table 8. Rank correlation coefficient between the concentrations of metal in lungs of CWP patients

Metel	Cu	Pb	Ni	Mg	Mn	Zn	Fe
Cu	1.000	-0.032	-0.070	0.364	0.091	0.476	-0.133
Pb		1.000	0.533	0.263	-0.136	-0.276	0.035
Ni			1.000	0.211	0.082	-0.113	0.072
Mg				1.000	0.192	0.307	0.091
Mn					1.000	-0.024	0.224
Zn						1.000	-0.111
Fe							1.000

Table 9. Rank correlation coefficient between the concentrations of metal in lungs of controls

Metel	Cu	Pb	Ni	Mg	Mn	Zn	Fe
Cu	1.000	0.079	-0.182	0.616	0.547	0.445	0.474
Pb		1.000	0.262	-0.218	-0.049	0.023	0.254
Ni			1.000	0.065	0.248	0.017	-0.056
Mg				1.000	0.598	0.622	0.082
Mn					1.000	0.526	-0.180
Zn						1.000	0.087
Fe							1.000

서 0.01 mg 단위의 무게까지 변화가 없었다.

진폐증자의 건조시킨 폐조직에 함유된 구리는 5.26 $\mu\text{g/g}$ dried weight (0.33-9.98), 납은 3.13 $\mu\text{g/g}$ dried weight (불검출-19.14), 니켈은 0.82 $\mu\text{g/g}$ dried weight (불검출-2.86), 마그네슘은 525.9 $\mu\text{g/g}$ dried weight (272.3-1,179.8), 망간은 0.91 $\mu\text{g/g}$ dried weight (0.19-2.02), 아연은 50.4 $\mu\text{g/g}$ dried weight (29.8-123.10), 철은 2,614.8 $\mu\text{g/g}$ dried weight (32.8-7,789.6)이었다.

비분진 폭로 대조군의 건조시킨 폐조직의 구리

농도는 5.13 $\mu\text{g/g}$ dried weight (2.98-6.91), 납은 1.68 $\mu\text{g/g}$ dried weight (0.84-3.34), 니켈은 0.25 $\mu\text{g/g}$ dried weight (불검출-0.86), 마그네슘은 421.1 $\mu\text{g/g}$ dried weight (269.1-742.1), 망간은 0.86 $\mu\text{g/g}$ dried weight (0.40-1.49), 아연은 52.6 $\mu\text{g/g}$ dried weight (29.8-110.9), 철은 1,097.0 $\mu\text{g/g}$ dried weight (53.5-1,999.4)이었다.

외국의 탄광은 거의 역청탄광으로 우리나라의 무연탄광과는 탄질에 있어서 많은 차이가 있지

Table 10. Metal concentrations in lungs of Korean CWP patients compared with bituminous coal miners of different studies

Unit: $\mu\text{g/g}$ dried weight

	Authors	Date	Mine	Cu	Pb	Ni	Mn	Mg	Zn	Fe
CWP patients	Crable et al	1967	Bituminous	—	23.7	37.0	98.8	8.1	—	1,595
	Crable et al	1968	Bituminous	9.5	2.9	5.0	525	2.4	130	2,444
	Carlberg et al	1971	Bituminous	9.6	3.8	3.2	530	5.8	88	3,000
	Sweet et al	1974	Bituminous	9.7	3.8	2.5	520	6.1	82	2,900
	Ho Chun Choi et al	1989	Anthracite	5.3	3.1	0.9	526	0.9	50	2,615
controls	Crable et al	1967		—	13.9	20.2	495	4.38	—	2,410
	Molokhia	1971		10.5	—	—	—	1.08	50	—
	Tipton-Cholak	1971		6.4	3.3	0.98	450	1.18	69	1,420
	HO Chun Choi et al	1989		5.1	1.7	0.3	421	0.9	53	1,097

— : No Data

만, 광부들의 폐조직에 함유된 금속들의 농도를 비교해 보면 Table 10과 같다.

탄광부 진폐증자의 폐조직 중 금속 농도에 있어서 유사한 측정치를 보인 Crable 등(1968), Carlberg 등(1971), Sweet 등(1974)은 구리 농도 9.5–9.7 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 납은 2.9–3.8 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 니켈은 2.5–5.0 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 마그네슘은 520–530 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 망간은 2.4–6.1 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 아연은 82–130 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 철은 2,444–3,000 $\mu\text{g/g}$ dried weight를 보여주었으며, 최호준 등(1989)은 구리가 5.3 $\mu\text{g/g}$ dried weight이며, 납은 3.1 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 니켈은 0.9 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 마그네슘은 526 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 망간은 0.9 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 아연은 50 $\mu\text{g/g}$ dried weight, 철은 2,615 $\mu\text{g/g}$ dried weight이었다.

이와 같이 최호준 등(1989)은 태백지역 탄광부 진폐증자에서 얻은 폐조직내 철, 마그네슘, 납의 농도가 외국의 세 저자들과 유사한 농도값을 보여 주었지만, 구리, 니켈, 망간, 아연은 낮은 농도값을 보여주었다.

반면에 Crable 등(1967)의 석탄 광부의 폐조직 중 철의 농도는 1,595 $\mu\text{g/g}$ dried lung으로 대조군의 2,410 $\mu\text{g/g}$ dried lung에 비해 매우 낮은 농도값을 보였으나, 석탄 광부나 대조군의 폐조직 중 납, 니켈, 망간 농도는 다른 저자들에 비해 모두 매우 높았다.

또한 대조군의 금속 농도 비교에 있어서는, 최호준 등(1989)이 Molokhia(1971)나 Tipton-Cholak(1971)에 비해 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연 및 철 농도가 매우 낮았다.

IV. 고 찰

석탄은 식물이 물이나 토사 중에 매몰하여 오랜 기간 동안 천연의 탄화작용을 받은 것으로, 그 탄화도에 따라 탄화도가 낮은 이탄으로 부터 아탄, 갈탄, 역청탄, 무연탄 등이 있다. 석탄의 조성은 탄소, 산소, 수소, 질소, 황, 무기 광물질 등을 함유한 복잡한 유기화합 물질로 탄화도나 지질학적인 차이에 따라 화학 성분 조성이 다르

게 된다.

석탄의 조성 뿐만 아니라 석탄을 둘러싸고 있는 암석 성분에 따라 석탄 광산 갱내 부유분진의 조성은 다르게 되며, 지역에 따라 진폐 유병율은 다르다(Morgan 등, 1974; Saric, 1972). 습식 회화에 의한 강산의 첨가는 시료가 오염될 가능성이 있으며 공실험(blank test)의 바탕 보정값이 크고, 산 잔유물에 의한 방해 작용으로 측정값의 변이가 크다. 반면에 저온도 라디오파 회화기는 고주파 발생으로 플라즈마를 형성시켜 150℃의 저온에서 유기물질을 완전히 파괴시켜 납과 같이 휘발성이 큰 금속 분석에 유리하지만, 단점으로는 건식회화로 시료가 가벼운 재료로서 비산되어 시료의 손실을 가져올 수 있다. 그러나 본 연구에서는 시료 전처리 과정이 간단하며, 강산 잔기의 방해를 막기 위해 저온도 라디오파 회화법을 사용하였다. 그러나 두 방법에 의한 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연, 철 농도는 차이가 없었다(Table 2).

탄광부 진폐증자와 대조군의 폐조직에 함유된 금속 농도를 분석한 결과 6.8–2,132.8 $\mu\text{g/g}$ wet weight, 납은 불검출 –3.71 $\mu\text{g/g}$ wet weight 등 시료의 농도 범위가 넓어 철, 아연, 마그네슘은 대수변환하였으며, 구리와 망간은 소숫점 이하의 ppm 단위로 평방근 변환시켰으며, 시료 중 불검출이 존재하는 납과 니켈은 각각 0.5와 0.05를 더하여 평방근 변환을 시켜 통계학적인 비교 분석을 하였다. Table 4와 같이 폐조직 중 구리, 망간, 아연 농도는 탄광부 진폐증자와 비분진 폭로 대조군에 있어서 차이가 없었으며 ($p>0.05$), 납, 니켈, 마그네슘, 철 농도는 차이가 있었으며 탄광부 진폐증자에서 더 높은 값을 보였다($p<0.05$).

Sweet 등(1974)은 역청탄 광부의 폐조직에 함유된 철, 구리, 티타늄, 니켈 및 다른 중금속들이 정상인 보다 현저히 높았으며 폐조직 손상이 심할수록 베릴륨과 마그네슘 농도값이 증가되는 경향이 있다고 하였다. Carlberg 등(1971)도 마나듐, 베릴륨, 크롬, 티타늄, 망간, 니켈, 구리, 아연, 납, 철, 마그네슘 농도가 탄광에서 근무한 경력이 없는 대조군보다 높다고 하였다. 탄광부 진

폐증자와 탄광에서 근무한 경력이 없는 대조군과의 금속 농도비를 비교해 보면 납이 1.32:1, 니켈은 2.20:1, 마그네슘은 1.30:1, 철은 2.58:1로 차이가 있게 보였다(Table 5). Carlberg 등(1971)은 역청탄 광부의 폐조직이 대조군보다 납이 1.2:1, 니켈이 3.3:1, 마그네슘이 1.2:1, 망간이 4.9:1, 아연이 1.3:1, 철이 2.1:1로 나타났다. Crable 등(1968)은 구리가 1.5:1, 납이 0.9:1, 니켈이 5.0:1, 아연이 1.9:1, 철이 1.7:1로 나타나 저자마다 약간씩은 다르지만 외국의 역청 탄광부의 폐조직에서는 구리, 망간, 아연의 함유량이 우리나라의 무연탄 광부들보다 더 높은 수치를 보여주었다.

호흡성 분진이 호흡 기관지를 통해 폐포 내에 침착이 될 때, 분진 및 각종 금속 원소들이 어느 위치에 많이 존재할 수 있는지 여부에 관하여 여러 저자들은 연구하였다. Molokhia 등(1967)은 구리가 일부 조직 시료 사이에서 농도 차이가 없었으며, 상엽과 하엽에서도 차이가 없었다고 보고하였다. 또한 망간은 하엽보다 상엽의 농도가 높았다. Carlberg 등(1971)은 폐조직을 우상, 우하, 좌상, 좌하엽으로 분류하면, 좌상엽에서 베릴륨, 티타늄, 바나듐, 크롬, 니켈, 구리, 마그네슘, 철 농도가 높았으며, 우상엽에는 망간과 아연 농도가 높아 우하엽이나 좌하엽에서 농도가 더 높은 원소는 없었다. 그러나 본 연구 결과 Table 6에서와 같이 탄광부 진폐증자의 폐조직 중 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연, 철 농도는 우상엽, 우하엽, 좌상엽, 좌하엽에 따라 금속 농도 차이가 없었다. 대조군도 위와 같이 조직부위에 따라 분석한 결과 각 금속에 있어서 차이가 없었다(Table 7). 그러나 Molokhia 등(1967), Carlberg 등(1971)은 각 금속 농도에 있어서 통계학적으로 비교 분석하지 않았다. 본 연구의 예를 든다면 대조군의 폐조직 중 구리와 철은 우상엽에서 각각 높은 농도를 보였으나, Kruskal-Wallis 일원 변량 분석결과 각각 $\chi^2=2.04$, $\chi^2=1.25$ 로 부위별 차이가 없었다.

탄광부 진폐증자의 폐조직 중 함유된 금속 원소들의 농도간에 상관관계를 본다면 Table 8과 같다. 니켈과 납은 상관계수가 0.533, 아연과 구리

는 0.476으로 나타나 유의한 상관관계를 보였다. 반면에 대조군에 함유된 금속 농도의 상관계수는 마그네슘과 구리가 0.616, 망간과 구리가 0.547, 망간과 마그네슘이 0.598, 아연과 구리가 0.445, 아연과 마그네슘이 0.622, 아연과 망간이 0.526, 철과 구리는 0.474으로 상관성을 보여주었다(Table 9).

탄광부 진폐증자와 대조군의 금속 농도간에 상관관계는 각각 위와 같이 뚜렷이 달랐다. 탄광부 진폐증자는 니켈과 납과 같은 유해한 금속 간에 상관성이 있었으며, 대조군은 인체에 필수로 존재하는 구리, 마그네슘, 망간, 아연, 철 농도 간에 상관성이 있었다.

외국은 대체로 역청탄 광산으로 역청탄 광부들의 폐조직 중 원소 농도들에 관한 많은 연구가 시도 되었다(Crable 등, 1967; Rossiter 등, 1972; Sweet 등, 1974). 반면에 우리나라는 무연탄 광산으로 탄광부 진폐증자의 폐조직에 함유된 성분 분석이 전혀 되어 있지 않은 상태로 이에 관한 부검폐의 화학적 원소 성분과 관한 진폐증의 병리학적 소견 측면이 없었다.

최호춘 등(1987)은 납, 마그네슘 및 철 농도가 $3.1 \mu\text{g/g}$ dried weight, $526 \mu\text{g/g}$ dried weight, $2,615 \mu\text{g/g}$ dried weight으로 Crable 등(1968), Carlberg 등(1971), Sweet 등(1974)의 $2.9-3.8 \mu\text{g/g}$ dried weight, $520-530 \mu\text{g/g}$ dried weight, $2,444-3,000 \mu\text{g/g}$ dried weight로 유사한 농도값을 보였다. 그러나 구리, 니켈, 망간, 아연은 최호춘 등(1989)에서 각각 $5.3 \mu\text{g/g}$ dried weight, $0.9 \mu\text{g/g}$ dried weight, $50 \mu\text{g/g}$ dried weight이었으며, 반면에 Crable 등(1968), Carlberg 등(1971), Steet 등(1974)은 각각 $9.5-9.7 \mu\text{g/g}$ dried weight, $2.5-5.0 \mu\text{g/g}$ dried weight, $2.4-6.1 \mu\text{g/g}$ dried weight, $82-130 \mu\text{g/g}$ dried weight으로 최호춘 등(1989)보다 매우 높은 수치를 보여 주었다. 그러나 1967년에 발표된 Crable 등은 석탄 광부의 폐조직에 함유된 철 농도가 $1,595 \mu\text{g/g}$ dried weight, 정상인은 $2,410 \mu\text{g/g}$ dried weight으로 오히려 석탄 광부가 0.66배로 낮은 수치를 보였다.

김해정과 최호춘(1988)에 의한 태백지역 석탄

광산의 탄 및 탄분진 중 중금속 함량 비교에 있어서 탄에 함유된 구리는 9-119 $\mu\text{g/g}$, 니켈은 0-29 $\mu\text{g/g}$, 아연은 5-69 $\mu\text{g/g}$ 으로 나타났으며, 1989년 보고서에서는 납이 $\text{Mg} \pm \sigma \text{g} = 8 \pm 2.3 \mu\text{g/g}$, 구리는 $\text{Mg} \pm \sigma \text{g} = 30 \pm 1.8 \mu\text{g/g}$, 니켈은 $\text{Mg} \pm \sigma \text{g} = 13 \pm 1.6 \mu\text{g/g}$, 아연은 $\text{Mg} \pm \sigma \text{g} = 6 \pm 4.4 \mu\text{g/g}$, 철은 $\text{Mg} \pm \sigma \text{g} = 1,778 \pm 1.1 \mu\text{g/g}$ 을 나타냈다.

위와 같은 결과로 우리나라 탄에 함유된 금속 농도와 폐조직에 들어 있는 금속 농도와 비교하여 본다면 탄에 함유된 철 농도와 광부의 폐조직에 함유된 철 농도가 높은 수치를 보여 주었다. Sorenson 등(1974)은 같은 역청탄광일지라도 진폐 발생률(incidence)이 높은 펜실베이니아 시료에서 구리, 철, 니켈, 납 및 아연 농도가 유타 광산의 석탄보다 높은 농도를 나타냈으며, 반면에 카드뮴은 두 광산이 같은 농도를 보여 주었다고 하였다. 특히 철과 니켈의 농도는 펜실베이니아 석탄이 유타 광산의 석탄보다 각각 10배, 5배 높았다.

두 광산의 석탄 중 금속 농도를 각각 본다면, 구리는 펜실베이니아가 24.8 $\mu\text{g/g}$, 유타 석탄이 7.6 $\mu\text{g/g}$, 납은 각각 13.5 $\mu\text{g/g}$, 6.6 $\mu\text{g/g}$, 니켈은 각각 595 $\mu\text{g/g}$, 140 $\mu\text{g/g}$, 아연은 23.9 $\mu\text{g/g}$, 10.4 $\mu\text{g/g}$, 철은 2,780 $\mu\text{g/g}$, 3,180 $\mu\text{g/g}$, 카드뮴은 0.24 $\mu\text{g/g}$, 0.23 $\mu\text{g/g}$ 을 나타내 주었으며, 우리나라의 태백지역 탄보다 모두 높은 값을 보여주었다.

Morgan 등(1972)은 펜실베이니아 역청탄광과 무연탄광의 광부들의 진폐 유병률 및 호흡기 질환에 관한 비교를 보면 무연탄 광부들의 진폐 유병률은 60 %, 진행성 거대결절(progressive massive fibrosis)은 14 %인 반면에 역청탄 광부들의 진폐 유병률은 47 %, 진행성 거대결절은 2.4 %를 나타내 통계학적으로도 매우 유의한 차이를 보여주었다. 이같이 역청탄광과 무연탄광의 비교는 오히려 금속 농도비에 의한 영향보다는 탄의 탄화도가 높고, 탄이 잘 부스러지는 물리적 성질 및 유리규산의 농도비에 간주되는 것이 아닌가 생각된다.

그러나 같은 역청탄 광산에서는 탄의 금속 농도가 높은 광산에서 진폐 발생률이 높다고 하였

다(Sorenson 등, 1974). 특히 Bergman 등은 폐내에 함유된 철의 양이 폐조직의 석탄 및 광물질 함유량과 상관관계가 있다고 하였으며, 비정상적으로 석탄 광부의 폐내에 많이 존재하는 철의 농도는 분진의 침착 뿐만 아니라 내생적으로 폐내에 헤모시더린(haemosiderin)이라는 저장성 혈철소 생성에 기인되는 것이라고 하였다.

본 연구에서도 마찬가지로 탄광부 진폐증자의 폐내에 함유된 철 농도는 기하평균이 426.7 $\mu\text{g/g}$ wet weight로 대조군 보다 2.58배의 고농도를 함유하고 있어, 진폐가 있는 석탄 광부 폐조직의 특수한 병리학적 소견의 일부분으로 간주될 수 있지 않나 생각된다. 그러나 본 연구에서 시료를 얻기가 매우 어려워 광부들의 근무경력이나 탄광부 진폐증자의 흉부 방사선 소견에 의한 병리학적 진단과 비교하지 못해 차후 시료의 갯수를 늘려 이에 관한 연구를 시도하고자 한다.

V. 결 론

탄광부 진폐증자의 폐조직에 함유된 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연, 철 농도를 분석하였으며, 비분진 폭로 대조군 및 외국의 석탄 광부의 폐조직 농도와 비교하였다.

이 결과는 다음과 같다.

1. 폐조직 회화시 저온도 라디오파 회화법과 습식 회화법에 따라 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연 및 철 농도 분석에 있어서 차이가 없었다($p > 0.05$).

2. 탄광부 진폐증자와 대조군 폐조직에 함유된 구리 농도는 각각 1.10 ± 0.088 , 1.10 ± 0.013 , 납은 1.12 ± 0.068 , 0.85 ± 0.007 , 니켈은 0.22 ± 0.020 , 0.10 ± 0.008 , 마그네슘은 113.7 ± 1.31 , 87.6 ± 1.29 , 망간은 0.19 ± 0.012 , 0.18 ± 0.005 , 아연은 10.2 ± 1.54 , 6 ± 1.44 , 철은 426.7 ± 2.63 , $164.9 \pm 3.29 \mu\text{g/g}$ wet weight이며 납, 니켈, 마그네슘, 철 농도는 두 그룹간에 차이가 있으며($p < 0.05$), 구리, 망간, 아연은 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

3. 탄광부 진폐증자와 대조군 폐조직의 금속 농도비에 있어서 구리는 1:1, 납은 1.32:1, 니켈

은 2.20 : 1, 마그네슘은 1.30 : 1, 망간은 1.06 : 1, 아연은 0.92 : 1, 철은 2.58 : 1이었다.

4. 탄광부 진폐증자와 대조군 폐조직의 우상엽, 우하엽, 좌상엽, 좌하엽에 따라 구리, 납, 니켈, 마그네슘, 망간, 아연, 철 농도는 모두 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

5. 탄광부 진폐증자 폐조직의 금속 농도에 따른 금속간의 상관관계를 보면 아연과 구리는 순위 상관관계수가 0.476, 니켈과 납은 0.533으로 비교적 상관관계가 높았다.

6. 대조군 폐조직의 금속간의 상관관계수는 마그네슘과 구리는 0.616, 망간과 구리는 0.547, 망간과 마그네슘은 0.598, 아연과 구리는 0.445, 아연과 마그네슘은 0.622, 아연과 망간은 0.526, 철과 구리는 0.474로 상관관계를 보였다.

7. 탄광부 진폐증자 폐조직 중 구리, 니켈, 망간, 아연 농도는 외국에 비해 한국이 낮은 값을 나타냈으며, 납, 마그네슘, 철 농도는 유사한 측정치를 보여 주었다.

참 고 문 헌

김해정, 최호춘 : 태백지역 석탄광산의 탄 및 탄분진 중의 중금속 함량 비교에 관한 연구. 진폐연구소 논문집 1988 : 131-149

Bergman I. Casswell C : Lung dust and lung iron contents of coal workers in different coal fields in Great Britain. *Br J Ind Med* 1972 ; 29 : 160-168

Carlberg JR. Crable JV. Limtiaca LP. et al : Total dust, coal, free silica, and trace metal concentrations in

bituminous coal miners' lungs. *Am Ind Hyg Assoc J* 1971 ; 32 : 432-440

Crable JV. Keenan RG. Kinser RE. Smallwood AW. Mauer PA : Metal and mineral concentrations in lungs of bituminous coal miners. *Am Ind Hyg Assoc J* 1968 ; 29 : 106-110

Freedman AP. Robinson SE. Johnston RJ : Non-invasive magneto-pneumographic estimation of lung dust loads and distribution in bituminous coal workers. *J Occup Med* 1980 ; 22 : 613-618

Keenan RG. Crable JV. Smallwood AW. Carlberg JR : Chemical composition of the coal miner's lung. *Am Ind Hyg Assoc. J* 1971 ; 32 : 392-397

Morgan WKC. Reger R. Burgess DB. Shoub E : A comparison of the prevalence of coal worker's pneumoconiosis and respiratory impairment in pennsylvania bituminous and anthracite miners. In : Selidoff IJ, Key MM, Lee DHK. *Annals of the New York Academy of Sciences* vol. 200, New York 1972 ; 252-259

Saric M : Prevalence of coal workers' pneumoconiosis in Yugoslavia. *Ann NY Acad Sci* 1972 ; 200 : 301-305

Sorenson JRJ. Korber TE. Petering HG : 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. Crouse WF. Crable JV. Carlberg JR. Lainhart WS : 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

Tipton IH. Shafer JJ : Statistical analysis of lung trace element levels. *Arch Environ Health* 1967 ; 8 : 58-75