

탄광부 진폐증자의 혈액 중 납, 철 및 아연 농도

단로복지공사 직업병연구소

최 호 춘 · 정 호 근 · 김 해 정

= Abstract =

Concentrations of lead, iron, and zinc in blood of coal workers' pneumoconiosis patients

Ho Chun Choi, Ph. D., Ho Keun Chung, M. D., Ph. D., Hae Jeong Kim

Institute of Occupational Diseases, Korea Labour Welfare Corporation

Lead, iron, and zinc concentrations in whole blood were determined by atomic absorption spectrophotometry, using a simple one-step dilution procedure, which were measured in 3 groups, 98 officers unexposed to dust or to metal, 58 coal miners without pneumoconiosis, and 113 coal workers' pneumoconiosis (CWP) patients.

The results were as follows :

1. The precisions (C. V.%) of lead, iron, and zinc in blood were $12.65 \pm 6.95\%$, $1.47 \pm 1.25\%$ and $6.35 \pm 3.34\%$, respectively.
2. Lead and zinc in blood showed the log-normal distribution unlike iron in blood which showed normal distribution.
3. Lead, iron, and zinc concentrations in blood of 3 groups were follows :

Group	Pb($\mu\text{g} / 100 \text{ ml}$)					Fe($\mu\text{g} / \text{ml}$)			Zn($\mu\text{g} / 100 \text{ ml}$)				
	Arithmetic		Geometric			Arithmetic			Arithmetic		Geometric		(n)
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	(n)	Mean	S. D.	(n)	Mean	S. D.	Mean	S. D.	
Unexposed controls	24	8	1.36	0.14	45	590	87	98	825	130	2.91	0.07	98
Exposed controls	24	7	1.36	0.12	58	556	120	107	849	184	2.92	0.09	107
CWP patients	22	10	1.30	0.18	59	585	128	113	957	323	2.96	0.13	113
ALL	23	9	1.34	0.15	162	577	115	318	880	238	2.93	0.10	318
F-value			2.447			2.756			8.008*				

CWP : coal workers' pneumoconiosis

* : $p < 0.05$

There was significant difference of concentration for zinc in blood by groups statistically.

4. The difference of lead, iron, and zinc concentrations in blood was not significant ($p>0.05$) by profusion on chest radiographs.

Key Words : lead, iron, zinc, coal workers' pneumoconiosis

I. 서 론

혈액 중 중금속 농도는 유해물질을 다루는 산업장에서 근로자들의 중독 여부를 판단하는 생물학적인 진단(biological monitoring) 목적에 필요할 뿐만 아니라 토양, 식생활 습관 및 생활주변의 환경 오염도에 따라서도 영향을 받기 때문에 특별히 중금속에 폭로된 적이 없는 정상인을 대상으로 하여 중금속 중독 여부를 평가하기 위한 기초자료를 제공하기도 하며 또한 환경 오염도에 따른 대기환경이 인체에 미치는 영향을 보기 위하여 지역에 따라, 주민들의 혈 중 중금속 농도 차이를 알아보기도 한다. 납은 지구상에 어디든지 존재하는 원소이지만 인체에는 불필요한 원소이다. 철과 아연은 인체에 미량 필수원소로서 존재하여 신진대사과정에 관여하지만, 많은 양의 축적은 독성으로 작용된다(Lauwergs 등, 1983; Stokinger, 1981).

중금속이 탄광부 진폐증에 미치는 영향에 대하여 Freedman 등(1972)은 어떤 주성분 원소나 미량 원소들이 단일 원소로서 또는 다른 물질과의 상호작용으로 병의 진전여부에 중요한 역할을 하기 때문에, 석탄이나 석탄 광부의 폐속에 존재하고 있는 원소들을 고려해야 한다고 하였다. 또한 Bergman 등(1972)은 단순 진폐증자의 폐내에 함유된 철의 양이 갱년 근속년수, 폐조직의 탄 및 무기물 함유량에 관계가 있다고 하였으며, 진폐에서 발견된 철의 함량이 정상인의 폐속에서 보다 매우 많은 양으로 존재한다고 하였다. 반면에 Freedman 등(1972)은 광부의 폐속에 철의 함량은 정상인의 폐에서 보다 0.66배로 적었고, 연은 정상인보다 1.7배의 높은 농도를 나타낸다고 하였다. 또한 아연은 석탄광내의 분진에 많이 존재하고 있는 중금속으로, 교원질 형성(Jacob, 1986)에 관여하는 물질로 알려져 있다.

이와 같이 석탄 분진에 포함된 중금속의 흡인으로, 분진에 특별히 노출된 적이 없는 정상인과 탄광부 진폐증자의 폐속에 침착된 중금속 함유량에 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나, 만성적으로 흡입된 분진은 폐속에 침착을 보여주며 동시에 용해되어 적은 양이 혈류를 통

하여 중금속 함량에 있어서 탄광부 진폐증자와 정상인이 다르지 않을까 생각된다.

그리하여, 우리나라에서 진폐 환자의 부검폐를 얻기가 쉽지 않으며 아직까지 발표된 바 없는, 석탄 광산내의 각종 중금속 분진에 장기적인 폭로 경험이 있는 진폐환자의 혈액내에 철, 납 및 아연이 얼마나 포함되어 있는지 알아보기 위하여 이 연구를 시도하였다. 또한 정상인과의 혈액내 중금속 함량을 비교하여 진폐환자에서 병의 진전여부와 관계되는 요소 인자로서 작용하는지 알아보 고자 하였다.

II. 연구방법

1. 조사대상

조사대상은 탄광부 진폐증군, 분진폭로 대조군 및 비 분진 폭로 대조군으로 각 집단은 모두 30세 이상인 남자를 선정하였다. 탄광부 진폐증군은 1988년 9-11월까지 영동지역 D병원에 내원하여 진폐 정밀진단을 받은 석탄광산 근로자 중 흉부 방사선 소견상 진폐증으로 진단을 받은 113명을 선정하였으며, 분진폭로 대조군은 1988년 10-11월 영동지역 D병원에서 실시한 석탄광산 근로자 정기신체검사 대상자 중 신체검사 결과 진폐의 소견이 없는 것으로 판정된 석탄광산 광부 107명을 대상으로 하였으며, 또한 비분진 폭로 대조군으로는 1988년 9-11월까지 영동지역에 근무하고 있는 일반 공무원으로 분진 및 중금속에 특별히 폭로된 적이 없는 98명을 선정하였다.

2. 실험재료 및 방법

1. 기기 및 시약

1) 기 기

(1) 원자흡수 분광기 : Model IL 551, 미국

2) 시 약

(1) 본 연구에서는 탈이온시킨 재증류수를 사용하였다.

(2) Triton x-100 : 계면활성제(Sigma Co., USA)

(3) 납, 철, 아연 표준원액 : 원자흡광 분석용(Junsei Chemical

Co. Ltd., Japan) 1,000 ppm

(4) 납 표준용액 : 위의 표준원액을 탈이온된 재증류수에 희석하여 10, 20, 30, 50, 70, 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 납 표준용액을 만들었다.

(5) 철 표준용액 : 위의 표준원액을 탈이온된 재증류수에 희석하여 2, 4, 6, 8, 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 로 철 표준용액을 만들었다.

(6) 아연 표준용액 : 위의 표준원액을 탈이온된 재증류수에 희석하여 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 로 아연 표준용액을 만들었다.

2. 시료의 채취, 전처리 및 분석방법

조사 대상자들의 주정맥에서 1회용 주사기를 사용하여 약 2ml를 채취한 후, potassium EDTA로 처리한 polyethylene 채혈병에 넣어 -20°C 에서 냉동 보관한 혈액을 시료로 사용하였다.

시료의 전처리는 혈액 중 납(Pb)농도분석을 위하여 혈액 500 μl 를 0.01% Triton x-100(2 ml)을 사용하여 5배로 희석하였으며, 아연(Zn)은 0.05% Triton x-100을 혈액 500 μl 에 4.5 ml를 첨가시켜 10배 희석된 시료용액을 만들었다. 철(Fe)은 혈액 500 μl 에 9.5 ml의 0.025% Triton x-100을 첨가시켜 20배 희석된 혈 용액을 사용하여 각각의 중금속 농도를 측정하기 위하여 희석된 혈액을 직접적으로 원자흡수 분광기에 흡입시켜 측정하였다.

이때 원자흡수 분광기의 기기조건은 아래와 같다(Table 1).

다. 표준검량곡선에 의한 중금속 농도 결정

10, 20, 30, 50, 70, 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 납 표준용액을 x축, 그리고 납의 흡광도를 y축으로 하여 1차 회귀직선을 표준검량곡선으로 하였으며, 2, 4, 6, 8, 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 의 철 표준용액 및 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 의 아연 표준용액도 납용액과 같이 1차 회귀직선인 표준검량곡선을 만들었다. 혈 중에 함유된 납, 철 및 아연 농도 분석은 위와 같이 각각의 중금속 농도 범위에 알맞는 희석방법을 사용하여 흡광도를 측정된 후 표준검량곡선에 의해 각각의 농도를 계산하였다.

III. 연구결과

1. 원자흡수 분광기에 의한 혈액 중 납, 철, 아연 농도의 정밀도

원자흡수 분광기를 사용하여 비분진 대조군의 시료 10개를 위와 같은 실험방법으로 3번 반복 분석한 결과는 Table 2와 같았다.

납은 분석 정밀도(C. V.%)가 3.3-26.9%이었으며 평균 $12.65 \pm 6.95\%$ 를 나타냈다.

철 및 아연은 각각 $1.47 \pm 1.25(0.6-4.8)\%$, $6.35 \pm 3.34(3.2-14.4)\%$ 로 혈 중 납 농도분석에 의한 변이계수 보다는 적은 값을 보여 주었다.

Table 1. Operating conditions

Element	Pb	Fe	Zn
Method	Flameless	Flame	Flame
Wavelength (nm)	283.3	248.3	213.9
Band width (nm)	1.0	0.3	1.0
High voltage (V)	620	700	530
Lamp current (mA)	5	8	3
D ₂ lamp current (mA)	4	5	3
Acetylene : oxidant (SCFH)	-	4 : 19	3 : 12
Argon purge gas (ml / min)	5	-	-
Readout mode	P / H	Auto	Auto
Temperature	dry at 70-100°C for 45 sec	-	-
Program	ash at 500°C for 25 sec	-	-
	atomize at 1,850°C for 8 sec	-	-

Table 2. Precisions of Pb, Fe, and Zn determinations in whole blood by atomic absorption spectrophotometry.

Subject	Pb($\mu\text{g} / 100 \text{ ml}$)			Fe($\mu\text{g} / \text{ml}$)			Zn($\mu\text{g} / 100 \text{ ml}$)		
	Mean	S. D.	C. V. %	Mean	S. D.	C. V. %	Mean	S. D.	C. V. %
A	22	4	18.2	540	26	4.8	797	31	3.9
B	30	1	3.3	499	4	0.8	872	36	4.1
C	22	3	13.6	583	13	2.2	765	110	14.4
D	22	2	9.1	704	8	1.1	965	51	5.3
E	27	3	11.1	561	4	0.7	665	21	3.2
F	22	4	18.2	553	4	0.7	843	69	8.2
G	26	7	26.9	559	13	2.2	784	72	9.2
H	26	4	15.4	633	4	0.6	928	41	4.4
I	21	1	4.8	593	6	1.0	1023	36	3.5
J	17	1	5.9	618	4	0.6	826	60	7.3
All	12.65 \pm 6.95			1.47 \pm 1.25			6.35 \pm 3.34		

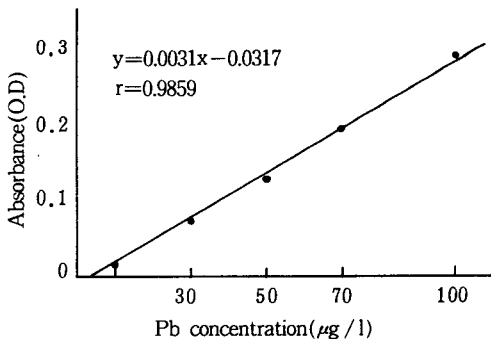


Fig. 1. Standard calibration curve for Pb determination by flameless atomic absorption spectrophotometry.

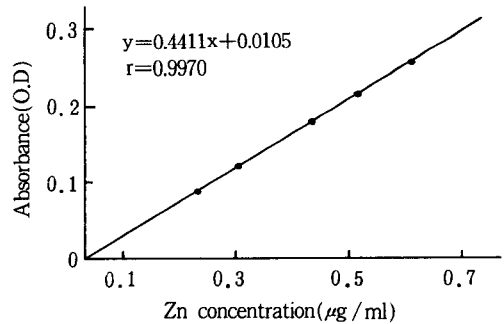


Fig. 3. Standard calibration curve for Zn determination by flame atomic absorption spectrophotometry.

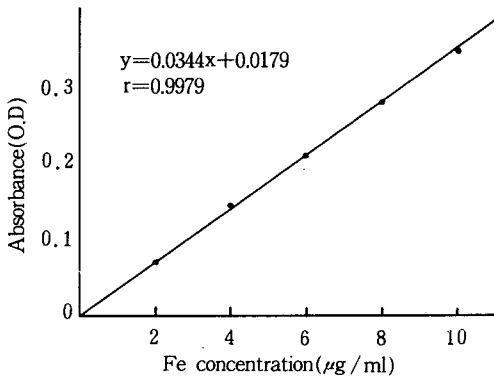


Fig. 2. Standard calibration curve for Fe determination by flame atomic absorption spectrophotometry.

2. 혈액 중의 납의 농도

조사 대상자인 비분진 폭로 대조군, 분진 폭로 대조군 및 탄광부 진폐증자는 모두 30세 이상의 남자를 선정하여 총괄적인 혈액 중의 납의 농도에 관한 분포도를 그려본 결과(Fig. 4), 혈액 중 납의 산술 평균값은 $23.19 \pm 8.51 (9.00-54.00) \mu\text{g} / 100 \text{ ml}$ 으로 왜도(β_3) 1.17, 첨도(β_4)는 1.59인 낮은 농도에 치우쳐진 분포형태를 나타냈으며, 적합도 검정에 따른 Kolmogorov-Smirnov test의 K-S Z 값은 1.60이었으며($p < 0.05$), 그 대수 변환치는 기하 평균값이 $22 \pm 1 (9-54) \mu\text{g} / 100 \text{ ml}$, $\beta_3 = 0.18$, $\beta_4 = -0.10$, K-S Z = 0.73($p > 0.1$)인 대수 정규분포곡선을 보여주고 있다(Fig. 5).

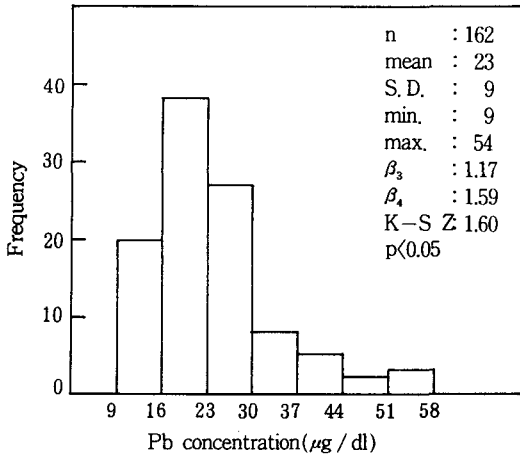


Fig. 4. Distribution of Pb in whole blood observed from 162 adults.

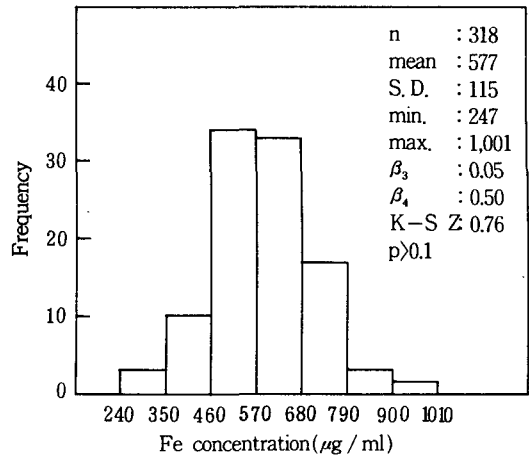


Fig. 6. Distribution of Fe in whole blood observed from 318 adults.

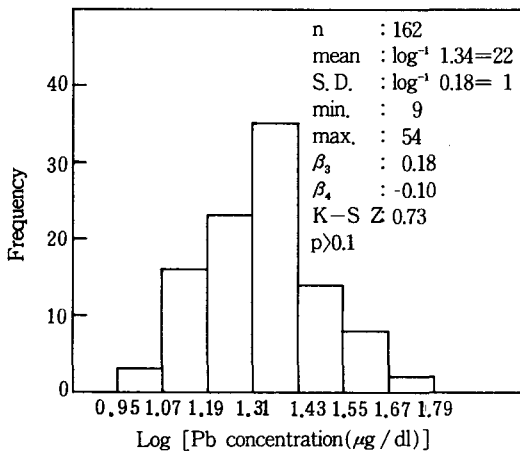


Fig. 5. Distribution of logarithms of Pb in whole blood observed from 162 adults.

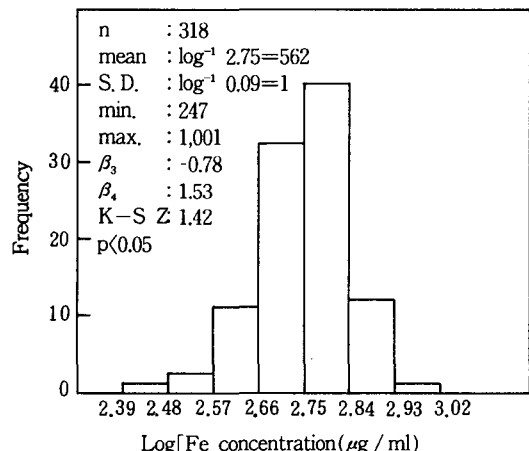


Fig. 7. Distribution of logarithms of Fe in whole blood observed from 318 adults.

3. 혈액 중의 철의 농도

혈액 중 철의 농도 분포도는 Fig. 6과 같이 나타났다. 산술 평균값은 $576.64 \pm 114.78 (247.00 - 1,001.00) \mu\text{g} / \text{ml}$ 로 $\beta_3=0.05$, $\beta_4=0.50$, $K-S Z=0.76 (p>0.1)$ 인 정규분포곡선을 보여주었다(Fig. 6). 그러나 만일 대수 변환치를 사용하여 분포도를 그리면 아래와 같이 오른쪽으로 아주 치우쳐진 대수 정규분포곡선을 따르지 않았다(Fig. 7; 기하 평균값은 $562 \pm 1 (247.00 - 1,001.00) \mu\text{g} / \text{ml}$, $\beta_3=-0.78$, $\beta_4=1.53$, $K-S Z=1.42 (p<0.05)$).

4. 혈액 중의 아연 농도

혈액 중 아연 농도는 산술 평균값이 $880.04 \pm 238.14 (424.00 - 2,234.00) \mu\text{g} / 100 \text{ml}$, $\beta_3=2.55$, $\beta_4=10.14$, $K-S Z=2.42 (p<0.05)$ 인 정규분포곡선에 따르지 않았다(Fig. 8). 그러나 대수 변환치는 기하 평균값이 $855 \pm 1 (424.00 - 2,234.00) \mu\text{g} / 100 \text{ml}$, $\beta_3=1.00$, $\beta_4=3.02$, $K-S Z=1.38 (p>0.01)$ 인 대수 정규분포곡선에 가까웠다(Fig. 9).

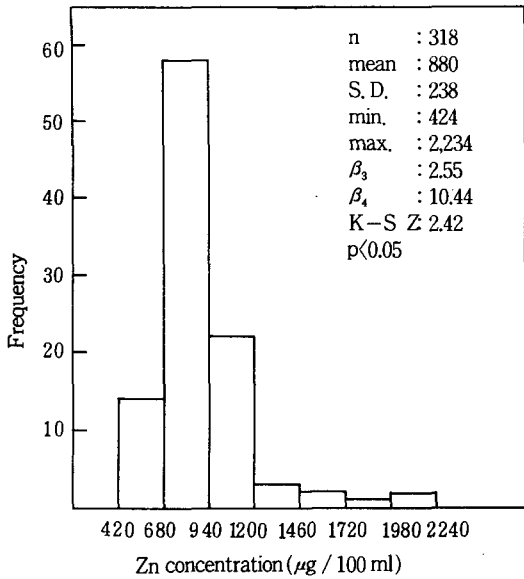


Fig. 8. Distribution of Zn in whole blood observed from 318 adults.

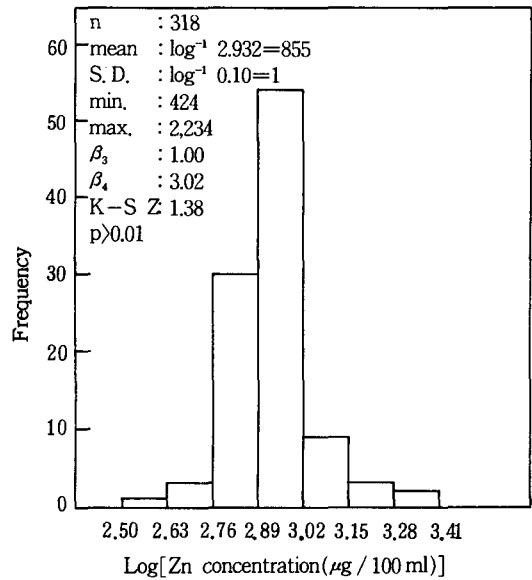


Fig. 9. Distribution of logarithms of Zn in whole blood observed from 318 adults.

5. 탄광부 진폐증자, 분진 폭로 대조군 및 비분진 폭로 대조군에 따른 혈액 중 납, 철, 아연 농도 비교

탄광부 진폐증자, 분진 폭로 대조군(광부) 및 비분진 폭로 대조군(공무원)의 혈액 중 납, 철, 아연 농도를 비교해 보았다. 이때 혈액 중 납 및 아연 농도는 정규분포

를 따르고 있는 대수 변환치로 분산분석을 하였으며 철의 농도는 정규분포를 따르는 산술값으로 분산분석을 하였다(Table 3).

그 결과 혈액 중 납 및 철의 농도는 각 group간 차이가 없었으며($p>0.05$), 아연농도는 group간 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$).

Table 3. Results of Pb, Fe, and Zn concentrations in whole blood by group

Group	Pb($\mu\text{g}/100\text{ ml}$)					Fe($\mu\text{g}/1\text{ ml}$)			Zn($\mu\text{g}/100\text{ ml}$)				
	Arithmetic		Geometric			Arithmetic			Arithmetic		Geometric		
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	(n)	Mean	S.D.	(n)	Mean	S.D.	Mean	S.D.	(n)
Unexposed controls	24	8	1.36	0.14	45	590	87	98	825	130	2.91	0.07	98
Exposed controls	24	7	1.36	0.21	58	556	120	107	849	184	2.92	0.09	107
CWP patients	22	10	1.30	0.18	59	585	128	113	957	323	2.96	0.13	113
ALL	23	9	1.34	0.15	162	577	115	318	880	238	2.93	0.10	318
F-value	2.447					2.756			8.008*				

CWP : coal workers' pneumoconiosis

* : $p<0.05$

6. 탄광부 진폐증자의 중금속 농도 및 흉부 방사선 소견

탄광부 진폐증자의 흉부 방사선 사진은 방사선과 1명의 전문의가 ILO의 진폐분류기준(1980)에 따라 읽었으며 profusion 0/-, 0/0는 0으로, 1/0, 1/1, 1/2는 1로, 2/1, 2/2, 2/3는 2로, 3/2, 3/3, 3/4는 3으로, 그리고 0/1은 4로 구분하였다. 이때 각 group에 따라 혈액 중 납, 철 및 아연농도를 비교해 본 결과 차이가 없었다(Table 4).

IV. 고 찰

과거의 분광분석법에 의한 중금속 분석은 특이적인 시약의 선택, 추출용액의 pH 문제 및 복잡한 실험단계로 말미암아 분석시간이 오래 걸리며, 오염문제로 인한 실험오차가 컸다(Kagi 등, 1958). 그러나 1955년 Walsh에 의해 원자흡수 분광기가 고안 제작되어 실험이 간단해졌을 뿐만 아니라 미량 중금속 분석이 용이해졌다. 또한 혈액 중 중금속 분석은 시료의 전처리 문제로 습식회화나 ammonium pyrrolidine dithiocarbamate(APDC), sodium diethyl dithiocarbamate(DDTC)에 의한 용매 추출법을 사용하였지만(Amore, 1974; Fuma 등, 1964; Parker 등, 1967; Willis, 1962), 요즘은 실험오차를 줄이기 위해 실험단계를 될수록 간단히 하여 측정 정밀도를 높이고 있다(Evenson 등, 1974; Fernandez, 1975).

본 연구에서도 이점을 감안하여 혈액 중 미량(ppb, $\mu\text{g}/\text{l}$) 함유된 납은 전기가열 원자화 장치가 부착된 비불꽃원자흡수 분광광도법을 사용하였으며, 혈액 중 철이나 아연은

ppm($\mu\text{g}/\text{ml}$)단위로 불꽃원자흡수 분광광도법을 사용하였다. 시료의 전처리는 분석시간이 적게 걸리며 오염도가 적은 방법으로 one-step dilution method를 사용하였다. 혈액은 계면 활성제인 0.05-0.01% Triton x-100으로 단순 희석시켜, 혈액의 점성도 및 다른 방해물질의 농도를 낮추었으며 또한 시료의 흡입 속도를 표준용액과 같이 하여 측정간도를 높여 주었다.

혈액 중 납, 철 및 아연 농도 측정은 3번 반복실험하여 원자흡수 분광기에 의한 분석 정밀도를 검토하였던바, 정밀도는 각각 $12.65 \pm 6.95\%$, $1.47 \pm 1.25\%$, $6.35 \pm 3.34\%$ 이었다(Table 2). 철 및 아연 농도 분석 정밀도는 매우 높았으며 납 농도에서 정밀도가 떨어진 것은 철이나 아연과 같이 ppm농도 범위가 아니라 ppb농도 범위를 분석하는데 기인된다고 생각된다.

비분진 폭로 대조군, 분진 폭로 대조군, 탄광부 진폐증자에 대한 혈액 중 납, 철 및 아연 농도에 관한 분포도를 보면 납 및 아연 농도는 대수 정규분포를 보였으며(Fig. 5, Fig. 9), 철 농도는 정규분포곡선을 보였다(Fig. 6). Mishima 등(1973)에 의하면 필수 미량원소나 유해한 중금속들은 거의 정규분포나 대수정규분포곡선을 보여준다고 하였듯이 본 연구에서도 중금속 종류에 따라 다른 분포곡선을 나타내 주었다.

본 연구의 조사대상인 비분진 폭로, 대조군, 분진 폭로 대조군, 탄광부 진폐증자의 혈액 중 납 농도는 각각 산술 평균값이 $24 \pm 8 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $24 \pm 7 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $22 \pm 10 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이며, 기하 평균값은 $\log^{-1} 1.36 \pm \log^{-1} 0.14 = 23 \pm 1 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $\log^{-1} 1.36 \pm \log^{-1} 0.12 = 23 \pm 1 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $\log^{-1} 1.30 \pm \log^{-1} 0.18 = 20 \pm 2 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었다. 또한 혈액 중 철 농도는 산술 평균값이 각각 $590 \pm 87 \mu\text{g}/\text{ml}$,

Table 4. Results of Pb, Fe, and Zn concentrations in whole blood x-ray finding profusion of CWP patients

X-ray finding profusion	Pb($\mu\text{g}/100\text{ml}$)					Fe($\mu\text{g}/1\text{ml}$)			Zn($\mu\text{g}/100\text{ml}$)				
	Arithmetic		Geometric			Arithmetic			Arithmetic		Geometric		
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	(n)	Mean	S.D.	(n)	Mean	S.D.	Mean	S.D.	(n)
1	22	8	1.31	0.15	25	618	132	41	923	266	2.95	0.10	41
2	23	11	1.32	0.20	18	573	161	37	945	345	2.95		37
3	21	12	1.28	0.21	16	559	69	35	1016	358	2.98	0.13	35
ALL	22	10	1.30	0.18	59	585	129	113	960	323	2.96	0.14	113
F-value			0.290			2.212					0.759 0.13		

*: $p < 0.05$

556±120 µg/ml, 585±128 µg/ml이었으며, 아연 농도는 산술 평균값이 각각 825±130 µg/100ml, 849±184 µg/100ml, 957±323 µg/100ml이며 기하 평균값은 $\log^{-1} 2.91 \pm \log^{-1} 0.07 = 816 \pm 1 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $\log^{-1} 2.92 \pm \log^{-1} 0.09 = 831 \pm 1 \mu\text{g}/100\text{ml}$, $\log^{-1} 2.96 \pm \log^{-1} 0.13 = 914 \pm 1 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이었다.

Mishima 등(1973)은 중금속에 폭로되지 않은 남자 성인들의 혈액 중 납 농도가 $0.2 \pm 0.06 (0.08 - 0.46) \mu\text{g}/\text{ml}$ ($n=136$)라 하였으며, 철은 $498 \pm 140 (30 - 1220) \mu\text{g}/\text{ml}$ ($n=142$), 아연은 $938 \pm 299 (600 - 2750) \mu\text{g}/100\text{ml}$ ($n=142$)로 나타났다. Sumino 등(1975)은 정상인의 일본 사람들의 혈액 중 납 농도는 $0.29 \pm 0.13 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이며 아연은 $1200 \pm 320 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 로 나타났으며, 또한 한국인의 각 장기조직 중 미량 중금속 분석을 한 장성길등(1982)은 혈액 중 연 함량이 남자인 경우 $0.26 \pm 0.18 (0.05 - 0.73)$ ppm, 여자는 $0.19 \pm 0.23 (0.02 - 0.79)$ ppm으로 나타났다. 김정용 등(1986)은 한국인 젊은이의 혈액 중 평균 아연 농도는 $6.48 \pm 1.04 \mu\text{g}/\text{ml}$ ($n=145$)를 나타냈다.

Stokinger(1981)는 혈액 중 납 농도에 대한 생물학적인 색출검사(biological monitoring)에서 정상치는 $40 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이하로 보며, 생물학적인 허용농도(threshold limit value, TLV)는 $80 \mu\text{g}/100\text{ml}$, 그리고 $120 \mu\text{g}/100\text{ml}$ 이상일 때는 위험수치라고 지적하였으며 혈액 중 아연 농도의 정상인 범위는 $880 \pm 220 \mu\text{g}/\text{dl}$ 로 나타났다.

그리하여 본 연구의 혈액 중 중금속 농도를 위의 연구보고와 비교해 본다면 납 농도는 거의 유사하였으며, 철은 다소 높은 수치를 나타냈으며, 아연은 저자에 따라 측정값의 변화가 심하였는데, 본 연구에서는 Stokinger(1981)와 유사한 값을 보여주었다.

그러나 대기 중 보다 중금속 함량이 높은 석탄 분진이 비산되는 갱내 작업장에서 근무한 근로자들의 건강상태를 파악하기 위하여 비분진 폭로 대조군, 분진 폭로 대조군 및 탄광부 진폐증군의 group간 농도 차이를 비교해 보면 납 및 철 농도는 group간 차이가 없었으며 ($p>0.05$), 아연 농도는 group간 차이가 있었다($p<0.05$).

아연은 많은 질병상태에서 보호효과를 갖는 미량 필수 원소로 알려져 있지만 오랫동안 고농도에 폭로되었을 시 폐에 광범위하게 섬유화 반응이 일어난다고 보고한 바도 있다(Stokinger, 1981). Rawat 등(1982)은 호흡성 탄분진에서 발견되는 중금속 중 아연, 카드뮴, 구리, 니켈이 위험한 오염물질일 수 있다고 주장하였으며, 석탄

과 호흡성 탄분진 속의 아연 함량비가 59.7로 아연이 호흡성 입자로 다른 중금속보다 더 많이 갱내에 존재한다고 하였다. 최 등(1988)도 또한 조제된 석탄분진과 갱내 호흡성 분진 중 아연 농도가 각각 $32 \pm 15.97 \mu\text{g}/\text{g}$ 및 $1,911 \pm 2,433.52 \mu\text{g}/\text{g}$ 으로 나타나, Rawat 등(1982)의 아연 함량비와 같은 59.72배로 많은 분율의 아연이 석탄 광산의 갱내 호흡성 분진 입자로 생성되어, 결과적으로 광부들의 폐속에 침착되는 것 같다. 그러므로 본 연구에서도 폐속에 흡입된 아연이 혈류를 통해 비분진 폭로 대조군보다 분진 폭로 대조군과 탄광부 진폐증자의 혈중 아연 농도가 높은 것으로 사료된다($p<0.05$).

그러나 탄광부 진폐증자에 있어서 x-ray 방사선 소견에 따른 profusion에 의한 아연 농도는 세 group 간 차이가 없었다. Sorenson 등(1974)은 석탄광부 진폐증의 유병율이 높은 펜실베이니아광산은 유병율이 낮은 유타 광산보다 구리, 철, 니켈, 납 및 아연이 석탄에 더 많이 함유되었다고 하였으며, 역청탄광부의 폐조직에는 철, 구리, 니켈 및 다른 중금속이 정상인보다 더 높다고 하여 석탄광부 진폐증의 유병율과 상관관계가 있는 것으로 병원학적 소견에 포함될 수 있다고도 하였다(Sweet 등, 1974; Keenan 등, 1971).

이와 같이 탄 분진에 의해 흡입된 중금속은 폐속에 침착되어 진폐유병율과의 상관관계를 갖지만 분진 중 적은 양의 중금속이 용해되어 혈류를 통하기 때문에 x-ray 방사선 소견에 따른 profusion이 증가될수록 아연 농도는 높았지만 통계학적으로는 차이가 없는 것으로 나타나지 않았나 생각된다.

V. 결 론

만성적으로 분진을 흡입한 탄광부 진폐증자, 분진 폭로 대조군인 진폐의 소견이 없는 석탄광산의 광부 및 비분진 폭로 대조군인 일반 공무원을 대상으로 혈액 내 납, 철 및 아연 농도를 비교하였다. 이때 혈액 중 납, 철, 아연 농도는 원자흡수 분광기를 사용하여 분석하였다.

1. 원자흡수 분광기에 의한 혈액 중 납, 철, 아연 농도 분석의 정밀도(precision)는 각각 $12.65 \pm 6.95\%$, $1.47 \pm 1.25\%$, $6.35 \pm 3.34\%$ 이었다.

2. 혈액 중 납 및 아연의 농도 분포는 대수 정규분포 곡선을 나타냈으며, 철의 농도는 정규분포곡선을 하였다.

3. 혈액 중 납의 농도는 탄광부 진폐증자, 분진 폭로

대조군(광부) 및 비분진 폭로 대조군(공무원)의 기하평균값이 각각 $\log^{-1} 1.30 \pm \log^{-1} 0.18 = 20 \pm 2 \mu\text{g} / 100\text{ml}$, $\log^{-1} 1.36 \pm \log^{-1} 0.12 = 23 \pm 1 \mu\text{g} / 100\text{ml}$, $\log^{-1} 1.36 \pm \log^{-1} 0.14 = 23 \pm 1 \mu\text{g} / 100\text{ml}$ 를 나타냈으며 혈액 중 철의 농도는 3group이 각각 산술 평균값이 $585 \pm 128 \mu\text{g} / \text{ml}$, $556 \pm 120 \mu\text{g} / \text{ml}$, $590 \pm 87 \mu\text{g} / \text{ml}$, 혈액 중 아연의 농도는 기하평균값이 $\log^{-1} 2.96 \pm \log^{-1} 0.13 = 914 \pm 1 \mu\text{g} / 100\text{ml}$, $\log^{-1} 2.92 \pm \log^{-1} 0.09 = 831 \pm 1 \mu\text{g} / 100\text{ml}$, $\log^{-1} 2.91 \pm \log^{-1} 0.07 = 816 \pm 1 \mu\text{g} / 100\text{ml}$ 를 나타냈다. 이 혈액 중 납 및 철의 농도는 각 group간 차이가 없었으며, 아연의 농도는 group간 차이가 나타났다($p < 0.05$).

4. 탄광부 진폐증자의 증금속 농도 및 흉부 방사선 소견 profusion 1, 2, 3 group에 따라 혈액 중 납, 철 및 아연 농도에 모두 차이가 없었다.

참 고 문 헌

- 김정용, 정규철. 한국인 젊은이의 혈 중 아연 농도. 증양의 대지 1986; 11권: 29-36
- 장성길, 문병렬, 정규철. 한국인의 각 장기조직 중의 미량증금속 원소분포: 연카드뮴 및 동의 함량. 예방의학회지 1982; 15권: 95-110
- 최호춘, 김해정. 태백지역 석탄광산의 탄 및 탄분진 중의 증금속 함량 비교에 관한 연구. 진폐연구소 논문집 1988
- Abdulla M, Svensson S, Aronsen BH. Antagonistic effects of zinc and aluminum on lead inhibition of aminolevulinic acid dehydratase. Arch Environ Health 1979; 34(6): 464-469
- Amore F. Determination of cadmium lead thallium, and nickel in blood by atomic absorption spectrometry. Anal Chem 1974; 46: 1597-1599
- Bergman I, Casswell C. Lung dust and lung iron contents of coal workers in different coal fields in Great Britain. Brit J Industr Med 1972; 29: 160-168
- Evenson MA, Pendergast DD. Rapid ultramicro direct determination of erythrocyte lead concentration by atomic absorption spectrophotometry with use of a graphite-tube furnace. Clin Chem 1974; 20: 163-171
- Fernandez FJ. Micromethod for lead determination in whole blood by atomic absorption, with use of the graphite furnace. Clin Chem 1975; 21: 558-561
- Fuwa C, Pulido P, Mckay R, Vallee BL. Determination of zinc in biological materials by atomic absorption spectrophotometry. Anal Chem 1964; 36: 2407-2411
- Freedman RW, Sharkey AG. Recent advances in the analysis of respirable coal dust for free silica, trace elements, and organic constituents. Ann NY Accad Sci 1972; 200: 7-16
- Jacob RA. Trace elements: Tietz NW ed. Textbook of clinical chemistry. Philadelphia, W. B. Saunders Copm., 1986, pp. 965-996
- 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
- Kagi JHR and Valee BL. Determination of zinc by direct extraction from urine with diphenylthiocarbazon. Anal Chem 1958; 30: 1951-1953
- Lauwergs R, Roels H, Buchet JP, et al. The influence of orally administered vitamin C or zinc on the absorption of and the biological response to lead. J Occup Med 1983; 25(9): 668-678
- Mishima M, Hoshiai T, Suzuk T. The concentration of several metals and their relationship in whole blood. 공중위생원 연구보고 1973; 22: 9-15
- Parker MM, Humoller FL, Mahler DJ. Determination of copper and zinc in biological material. Clin Chem 1967; 13: 40-48
- 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
- Sorenson JRJ, Kober 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 WE, 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: 457-488
- Stokinger HE. The metals, Patty's industrial hygiene and toxicology, Vol 2A, New York, 1981, p.1661-2049
- Sumino K, Hayakwa K, Shibata T, Kitamura S. Heavy metals in normal Japanese tissues. Arch Environ Health 1975; 30: 487-494
- Willis JB. Determination of lead and other heavy metals in urine by atomic absorption spectroscopy. Anal Chem 1963; 34: 614-619