

폐금속 광산지역 토양 중 중금속 농도와 주민의 혈액 및 요중 중금속 농도와의 관련성

장봉기 · 박상일 · 김남수* · 정경식* · 이병국* · 이종화†
순천향대학교 환경보건학과, *순천향대학교 환경산업의학연구소

Relationship between Heavy Metal Concentrations in the Soil with the Blood and Urine of Residents around Abandoned Metal Mines

Bong-Ki Jang, Sang-Il Park, Nam-Soo Kim*, Kyung-Sick Jung*,
Byung-Kook Lee*, and Jong-Wha Lee†

Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Asan, Korea
**Institute of Environmental & Occupational Medicine, Soonchunhyang University, Asan, Korea*

ABSTRACT

Objectives: This study was conducted in order to examine the relationship between heavy metal concentrations in the soil and the level of heavy metals in the blood or urine of 216 local residents living near abandoned metal mines.

Methods: Residents around abandoned metal mines were interviewed about their dietary habits, including seafood consumption, medical history, cigarette smoking, and drug history. Metal concentrations in the soil were determined by atomic absorption spectrophotometer (AA-7000, Shimadzu, Japan). Lead (Pb) and cadmium (Cd) contents in the blood or urine were analyzed by GF-AAS (AA-6800, Shimadzu). Mercury (Hg) contents in the blood were determined by means of a mercury analyzer (SP-3DS, NIC). Arsenic (As) content in the soil and urine were measured by a HG-AAS (hydride vapor generation-atomic absorption spectrophotometer).

Results: The heavy metal concentrations in the soil showed a log normal distribution and the geometric means of the four villages were 8.61 mg/kg for Pb, 0.19 mg/kg for Cd, 1.81 mg/kg for As and 0.035 mg/kg for Hg. The heavy metal levels of the 216 local residents showed a regular distribution for Pb, Cd, Hg in the blood and As in the urine. The arithmetic means were 3.37 µg/dl for Pb, 3.07 µg/l for Cd and 2.32 µg/l for Hg, 10.41 µg/l for As, respectively.

Conclusions: As a result of multi-variate analysis for the affecting factors on the bodily heavy metal concentrations, gender and concentration in the soil (each, $p < 0.01$) for blood lead levels; gender and smoking status (each, $p < 0.01$) for blood cadmium levels; gender ($p < 0.01$) for urine arsenic levels; gender, age and concentration in the soil ($p < 0.01$) for blood mercury levels were shown to be the affecting factors.

Key words: Heavy metals, Soil, Blood, Urine, Abandoned metal mines

†Corresponding author: Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Chungnam 336-745, Korea, Tel: +82-41-530-1271, Fax: +82-41-530-1272, E-mail: leejong@sch.ac.kr
Received: 11 August 2011, Revised: 5 September 2011, Accepted: 14 September 2011

I. 서 론

폐금속 광산지역에서 금속에 의한 토양 오염은 주요한 환경영향 문제 중 하나이지만, 전국에 산재된 폐금속 광산은 대부분 산간지방에 위치하여 환경오염이 가시적이지 않고 주변에 거주하는 주민의 수가 도시에 비해 적어 사회적 및 학문적 관심이 다른 환경오염 문제에 비해 상대적으로 낮은 편이었다.

국내에 산재되어 있는 휴·폐금속 광산들은 2,000여 개에 달하고 있으며, 채굴과 제련 공정에서 발생한 폐광석과 광미가 적절한 오염방지시설 없이 방치된 곳은 인근 토양과 하천을 오염시키는 오염원이 되고 있다.¹⁾ 따라서 광산폐기물, 채광 및 제련시설물 방치 등 광업 활동의 중단에 따른 토양 정비 및 환경보호 조치의 미흡은 폐광산 주변지역 중금속 오염의 요인으로 작용하게 되었다.²⁾ 또한 폐금속 광산에서 유출되는 광산배수는 낮은 pH를 가지고 있으며, 납(이하 Pb), 카드뮴(이하 Cd), 비소(이하 As), 수은(이하 Hg)과 같은 독성이 높은 중금속을 다량 함유하고 있어 주변의 토양을 오염시키게 된다.

광산 활동으로 인한 주변 지역의 오염은 자연적 정화과정을 거쳐 안정화되기도 하지만, 중금속의 지속적인 유입과 관리의 소홀로 인해 자연적 정화능력의 한계를 벗어나게 되면 환경오염 문제를 야기하게 된다. 특히, 방치된 폐금속 광산의 광미나 폐석 등은 토양을 산성화시킬 뿐만 아니라 각종 유해 중금속의 이온화를 촉진시킴으로써 중금속 원소들이 자연수를 매개로 이동하여 주변 토양 및 하상 퇴적물에 가용성 염으로 농축되거나 주변 하천의 하류에 있는 농경지로 유입하게 되어 농작물에 흡수되고 이를 섭취하는 인간이나 동물들에게 만성적인 장애를 일으킬 수도 있다.^{3,4)} 해외에서는 폐금속 광산지역의 환경오염과 주변 지역 주민들에게 미치는 영향을 규명하기 위하여 건강 위해성을 평가하고 있으며,⁵⁻¹⁰⁾ 우리나라의 경우 폐금속 광산의 영향으로 인한 토양 중 중금속 농도나 체내 중금속 농도에 대한 연구 논문들¹¹⁻¹⁷⁾이 있으나 이 두 부분 모두에 관련된 직접적인 상관성에 관한 연구는 미비한 수준이다.

따라서 본 연구는 충남 소재의 모 폐금속 광산 주변의 지역별 경작지 토양 중 Pb, Cd, As 및 Hg 농도를 조사하여, 그 지역 주민들의 체내 중금속 농도와의 관련성을 알아보고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 조사대상 및 지역

본 연구는 2009년 3월부터 11월까지 충남 모 폐금속 광산의 영향권 지역을 대상으로 하여 4개 마을의 경작지 토양 중의 중금속 농도를 분석하고, 아울러 그 지역주민 216명을 대상으로 설문조사를 실시하고 혈액 및 요를 채취하여 중금속 농도를 분석하였다.

폐금속 광산 영향권 지역의 토양 시료는 폐금속 광산이 존재하는 A리를 기점으로 폐광산부지 하부 약 0.1 km에 있는 하천의 건너편(서쪽) 방향에 위치한 B리와 A리의 아래쪽에 위치한 C리 및 그 동쪽(우측)에 있는 D리의 농경지 표토 시료를 채취하였으며, 총 102개 시료를 분석대상으로 하였다.

2. 토양 시료채취 및 분석방법

토양의 시료채취 및 오염도 분석방법은 토양 오염 공정시험방법에 준하여 행하였으며 분석 항목은 지역 주민의 체내농도를 분석한 Pb, Cd, As, Hg이었다. As와 Hg는 AAS-cold vapor generation법을 이용하였으며, 그 외의 분석 항목은 원자흡광분광광도계(Shimadzu, AA-7000, Japan)를 사용하여 flame법으로 정량하였다. 각 분석법의 전처리 방법을 요약하면 Pb, Cd은 시료 10 g을 정확히 취하여 100 ml를 분해병에 넣고 염산용액(0.1 N) 50 ml를 넣고 항온수평진탕기(100회/분, 진폭 10 cm)를 사용하여 30°C를 유지하면서 1시간 진탕한 다음 거름종이(5B)를 사용하여 여과하였다. As는 시료 4 g을 정밀히 취하여 100 ml 삼각플라스크에 넣고 염산용액(1 N) 20 ml를 넣고 항온수평진탕기(100회/분, 진폭 10 cm)를 사용하여 30°C를 유지하면서 30분간 진탕한 다음 거름종이(5B)를 사용하여 여과하였다. 여과된 시료는 10 ml falcon tube에 1.0 ml을 취하여 1 ml hydrochloric acid와 1 ml 전환원제(5% KI/5% ascorbic acid)를 넣고 1시간 방치한 후 증류수로 10 ml까지 채워 최종분석시료로 하였다. 시료 분석은 원자흡광분광광도계(Shimadzu, AA-7000, Japan)를 활용하여 hydride vapor generation법으로 시행하였다. Hg는 시료 4 g을 0.001 g까지 정밀하게 취하여 250 ml 반응용기에 넣고 약 0.5~1 ml의 물로 시료를 적신 후 염산 21 ml를 첨가하면서 잘 섞은 다음 질산 7 ml를 가하여 잘 저어준 후, 흡수용기에 질산(0.5 M) 15 ml

를 붓고 흡수용기와 환류냉각관을 반응용기에 연결시킨 후 상온에서 2시간 이상 정치시켜 토양 내의 유기물이 천천히 산화되도록 하였다. 정치 후 반응 혼합물의 온도를 서서히 올려 환류조건에 도달하도록 하고 2시간 동안 그 상태를 유지시켰으며, 환류 냉각되는 부분이 냉각관 높이의 1/3보다 낮은 부분에서 이루어지도록 확인하면서 분해시켰다. 분해가 끝나면 반응용기를 냉각시키고, 흡수용기 내의 내용물을 환류냉각관을 통하여 반응용기에 첨가하고 흡수용기와 환류냉각관을 질산 10 m/로 씻어 반응용기에 넣는다. 반응용기를 정치시켜 대부분의 불용성 잔류물이 현탁액에서 침전되도록 하였다. 기기의 안정성을 고려하여 Whatman No. 40 여과지로 100 m/용량 플라스크에 여과하고 물로 표선까지 채워 검액으로 사용하였다. 원자흡광분광광도계(Shimadzu, AA-6800, Japan)를 이용하여 전처리한 여액의 흡광도를 측정하고 미리 작성한 검량선으로부터 측정 금속의 농도(mg/kg)를 산출하였다. 용액 속의 Hg 이온을 금속 Hg으로 환원시켜 AAS-cold vapor generation법으로 측정하였다. 토양 중 Pb, Cd, As, Hg의 검출한계(limit of detection, LOD)는 각각 0.102 ppm, 0.009 ppm, 0.746 ppb, 0.830 ppb였다.

3. 혈액 및 요중 시료채취 및 중금속 분석방법

조사항목은 혈액 중 Pb, Cd, Hg, 요중 As이며, 조사 및 분석방법은 국립환경과학원에서 발간한 “생체시료중 환경오염물질 분석 매뉴얼('06)”을 준용하였다. 시료채취의 경우, 혈액은 항응고제로 sodium heparin이 첨가된 BD Vacutainer tube에 채취한 후 응고되지 않도록 roll mixer로 잘 섞은 후 분석 시까지 -80°C 인 deep freezer에 보관하였으며, 요는 시료의 오염을 방지하기 위하여 대상자들에게 채뇨법을 숙지시킨 후 일시뇨를 채취하였다. 채취한 일시뇨는 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 얻은 상층액을 분리시켜 분석 시까지 -20°C 에서 냉동·보관하였다. 채취된 시료는 검체운송체계를 통하여 운송 후 일괄분석을 실시하였으며 혈중 Pb는 Z-2700 (Hitachi, Japan)으로 분석하였으며 LOD는 $0.013 \mu\text{g}/\text{dl}$, 혈중 Cd는 SpectraAA240Z(Varian, U.S.A.)로 분석하였으며 LOD는 $0.213 \mu\text{g}/\text{l}$, 혈중 Hg는 SP-3DS(NIC, Japan)로 분석하였으며 LOD는 $0.09 \mu\text{g}/\text{l}$, 요중 As는 5100ZL(Perkin Elmer, U.S.A.)로 분석하

였고 LOD는 $0.05 \mu\text{g}/\text{l}$ 이었다.

4. 통계 분석

자료 분석을 위하여 연속 변수들의 정규분포성을 검토하였고, 정규분포하지 않는 변수들의 경우 정규분포화시키기 위하여 자연대수변환을 실시하여 기하평균을 구하였다. 연속형 변수들의 평균비교는 t-test 또는 ANOVA를 이용하였고, 통계학적 유의성 검증 수준은 $p\text{-value} < 0.05$, 0.01 로 하였다.

지역주민의 혈액, 요중 중금속 농도에 미치는 영향요인에 대한 다변량 회귀분석(multiple regression analysis)을 위해 경작지 토양 중 중금속 농도는 각 마을의 기하평균값으로 입력하였다. 모든 통계학적 검정은 SPSS 18.0을 이용하였다.

III. 결 과

실제 각각의 시료채취 지역에 따른 토양 중금속 농도와 시료가 채취된 토양 소유자의 생체 내 중금속 농도를 연계시키는 것이 가장 바람직하나 소유자의 토양이 여러 지역으로 분포해있어 마을별로 평균 토양 중 중금속과 인체 내 중금속 농도를 비교하였다.

1. 폐금속 광산 주변 경작지의 마을별 토양 중 중금속 농도 비교

폐금속 광산 주변지역의 경작지 토양 중 Pb, Cd, As, Hg의 농도 분포는 왼쪽으로 치우쳐진 기하정규 분포를 하고 있었다. 따라서 통계학적 검정을 하기 위하여 각 측정치에 $\ln(\text{자연대수})$ 을 취하였으며 토양의 중금속 농도에 대한 평균치와 표준편차는 기하평균 및 기하표준편차로 산정하여 Table 1에 나타내었다.

본 연구 대상지역 전체의 중금속 농도의 기하평균은 Pb이 $8.606 \text{ mg}/\text{kg}$, Cd이 $0.186 \text{ mg}/\text{kg}$, As가 $1.814 \text{ mg}/\text{kg}$, Hg이 $0.035 \text{ mg}/\text{kg}$ 으로 조사되었다.

토양 중 Pb과 Cd 농도는 마을 간에 유의한 차이가 없었으나, As 농도의 마을별 기하평균은 D리가 $5.740 \text{ mg}/\text{kg}$ 으로 유의하게 높게 나타났으며($p < 0.05$), 그 다음이 B리, C리, A리의 순이었다. Hg의 기하평균도 마을 간에 유의한 차이를 보였으며($p < 0.01$), B리가 $0.099 \text{ mg}/\text{kg}$ 로 가장 높았으며, D리가 그 다음으로 높았다.

Table 1. Heavy metals concentration in the soil by the vilage (unit: mg/kg)

Village	No.	Pb		Cd		As		Hg	
		GM	(GSD)	GM	(GSD)	GM	(GSD)	GM	(GSD)
A	42	7.491	(2.408)	0.173	(2.029)	1.412	(3.043)	0.029	(1.663)
B	14	10.471	(2.818)	0.185	(2.637)	2.144	(3.659)	0.099	(1.427)
C	41	9.138	(1.450)	0.193	(1.943)	1.923	(2.754)	0.029	(1.259)
D	5	9.752	(1.527)	0.273	(1.535)	5.740	(1.901)	0.040	(1.115)
Total	102	8.606	(2.069)	0.186	(2.051)	1.814	(3.044)	0.035	(1.761)
F (ANOVA)		0.992		0.646		2.774*		40.534**	
Warning standard ¹⁾		100		6		1.5		100	
Counter-measurement standard ¹⁾		300		15		4		300	

* : p<0.05, ** : p<0.01, GM: geometric mean, GSD: geometric standard deviation,
¹⁾: Following the criteria from weak acid (HCl) leaching method of Soil Environment Conservation Act in Korea (2009)

2. 폐금속 광산 주변 마을 주민의 혈액, 요중 중금속 농도 분포

폐금속 광산 주변 마을에 거주하는 주민들의 혈중 Pb, Cd, Hg, 요중 As의 농도 분포는 대체로 정규분포를 하고 있어 산술평균으로 통계학적 검정을 할 수 있으므로 자연대수변환을 하지 않았다. 폐금속 광산 주변 거주주민의 마을별 혈액, 요중 중금속 농도를 Table 2에 나타내었다.

전체 주민의 혈중 평균 Pb 농도는 3.37 µg/dl, 혈중 Cd 농도는 3.07 µg/l, 요중 As 농도는 10.41 µg/l, 혈중 Hg 농도는 2.32 µg/l로 조사되었으며 주민들의 혈중 Pb의 평균 농도는 마을 간에 유의한 차이를 보였는데(p < 0.01), B리 주민들의 혈중 평균 Pb 농도가 3.90 µg/dl로 가장 높게 나타났고, 그 다음이 C리, A리 순이었고, D리가 가장 낮았다. 혈중 Cd 농도의 마을별 산술평균은 통계학적인 유의한 차이가 없었다. 요중 As의 평균농도는 마을간 유의한 차이를 보였으며(p < 0.01), C리가 13.31 µg/l로 가장 높았으며, 그 다음이 D리, A리, B리 순이었다. 주민들의 혈중 Hg 평균농도도 마을별로 유의한 차이를 보였는데(p < 0.01), C리가 2.63 µg/l로 가장 높게 나타났으며, B리, D리, A리 순이었다.

3. 성별, 연령, 거주기간, 생활양식 등에 따른 혈액, 요중 중금속 농도

성별, 연령, 거주기간, 흡연 및 음주여부, 식품의 자급형태, 선호식품 및 식수원에 따른 혈액, 요중 중금속 농도는 Table 2와 같다.

주민의 혈중 Pb의 산술평균은 남성이 3.79 µg/dl로

여성의 3.10 µg/d보다 유의하게 높게 나타났다(p < 0.01). 혈중 Cd 농도의 산술평균은 성별에 따른 통계학적인 유의한 차이는 나타나지 않았다. 요중 As의 평균농도도 남성이 유의하게 높았다(p < 0.05). 혈중 Hg 산술평균도 남성이 2.68 µg/l로 여성의 2.09 µg/l보다 유의하게 높게 나타났다(p < 0.01).

혈중 Pb 농도의 산술평균은 거주기간에 따른 유의한 차이를 보였으며(p < 0.05), 거주기간 65년 이상군이 3.67 µg/dl로 가장 높게 나타났다. 혈중 Cd, Hg, 요중 As 농도의 거주기간별 산술평균은 통계학적인 유의한 차이가 없었다.

주민의 혈중 Pb, Cd 농도와 요중 As 농도는 연령에 따른 통계학적 유의한 차이가 없었으나, 혈중 Hg 농도는 연령이 증가함에 따라 유의하게 낮게 나타났다(p < 0.01).

혈중 Pb의 평균농도는 흡연군이 3.68 µg/dl로 비흡연군의 3.27 µg/dl에 비하여 유의하게 높았지만(p < 0.05), 혈중 Cd와 Hg, 요중 As 농도는 흡연여부에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 혈중 Pb과 Cd 농도, 요중 As 농도는 음주여부에 따른 유의한 차이가 없었으나, 혈중 Hg은 음주군이 2.54 µg/l로 비음주군의 2.18 µg/l보다 유의하게 높았다(p < 0.05).

주민의 선호식품 및 식수원에 따른 혈액, 요중 중금속 농도의 통계학적인 유의한 차이는 보이지 않았다.

4. 혈액, 요중 중금속 농도에 영향을 주는 요인들의 다변량 분석

폐금속 광산이 인근지역 주민의 체내 중금속 농도를 증가시키는데 대한 여부를 확인하기 위해 체내

Table 2. Heavy metals concentrations in blood or urine of residents by village, age, gender, and lifestyle

Variables	No.	Blood Pb ($\mu\text{g}/\text{d}/$)		Blood Cd ($\mu\text{g}/\text{l}$)		Urine As ($\mu\text{g}/\text{l}$)		Blood Hg ($\mu\text{g}/\text{l}$)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Total	216	3.37	1.17	3.07	1.22	10.41	6.25	2.32	1.16
Village									
A	47	3.14	0.88	2.81	0.91	9.28	4.22	1.69	1.07
B	66	3.90	1.35	3.01	0.78	8.87	5.37	2.62	1.06
C	40	3.21	0.99	3.16	0.99	13.31	8.30	2.63	1.18
D	63	3.10	1.12	3.27	1.28	11.08	6.33	2.27	1.16
Significance		p < 0.01		N.S.		p < 0.01		p < 0.01	
Gender									
Male	85	3.79	1.32	2.90	1.28	11.70	6.06	2.68	1.25
Female	131	3.10	0.98	3.19	1.18	9.59	6.26	2.09	1.04
Significance		p < 0.01		N.S.		p < 0.05		p < 0.01	
Age									
< 65	58	3.51	0.92	2.93	1.06	10.40	5.72	2.67	1.22
65-69	47	3.50	1.41	2.91	0.88	10.05	6.03	2.54	1.06
70-74	57	3.23	1.11	3.28	1.30	10.57	6.54	2.12	1.13
≥ 75	54	3.27	1.27	3.14	1.52	10.59	6.83	1.96	1.10
Significance		N.S.		N.S.		N.S.		p < 0.01	
Duration of residence									
< 40	50	3.42	1.09	3.02	1.10	10.14	5.90	2.21	1.07
40-49	42	3.18	0.91	2.85	0.78	10.91	7.78	2.36	1.15
50-64	52	3.09	0.95	3.40	1.61	8.91	5.31	2.22	1.29
≥ 65	64	3.67	1.47	3.01	1.21	11.37	6.10	2.43	1.09
Significance		p < 0.05		N.S.		N.S.		N.S.	
Smoking status									
Smoker	54	3.68	1.22	3.35	1.58	10.03	4.75	2.48	1.20
Non smoker	161	3.27	1.15	2.99	1.07	10.55	6.71	2.25	1.14
Significance		p < 0.05		N.S.		N.S.		N.S.	
Drinking status									
Drinking	78	3.57	1.14	3.01	1.10	10.84	5.66	2.54	1.21
Non drinking	137	3.26	1.18	3.11	1.29	10.18	6.60	2.18	1.12
Significance		N.S.		N.S.		N.S.		p < 0.05	
Self support type of foods									
Rice: Self-sufficiency	41	3.16	0.93	3.10	1.09	11.64	6.72	2.39	1.15
Other ¹⁾	174	3.42	1.22	3.07	1.26	10.13	6.14	2.29	1.16
Significance		N.S.		N.S.		N.S.		N.S.	
Cereals ²⁾ : Self-sufficiency	95	3.33	1.11	3.07	0.94	11.15	5.85	2.35	1.18
Other	119	3.42	1.23	3.09	1.42	9.91	6.54	2.27	1.15
Significance		N.S.		N.S.		N.S.		N.S.	
Beans: Self-sufficiency	102	3.34	1.09	2.99	0.93	11.16	5.88	2.41	1.19
Other	113	3.41	1.25	3.16	1.44	9.76	6.55	2.22	1.13
Significance		N.S.		N.S.		N.S.		N.S.	

Table 2. Continued

Variables	No.	Blood Pb ($\mu\text{g/dl}$)		Blood Cd ($\mu\text{g/l}$)		Urine As ($\mu\text{g/l}$)		Blood Hg ($\mu\text{g/l}$)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Favorite food									
Mainly vegetable diet	117	3.22	1.04	3.16	1.26	10.68	6.97	2.23	1.11
Others ³⁾	98	3.50	1.32	2.98	1.18	10.11	5.32	2.40	1.21
Significance		N.S.		N.S.		N.S.		N.S.	
Drinking water									
Ground water	137	3.46	1.19	3.11	1.28	10.05	6.04	2.40	1.16
Others ⁴⁾	78	3.22	1.15	3.02	1.14	11.06	6.64	2.16	1.15
Significance		N.S.		N.S.		N.S.		N.S.	

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, SD: Standard deviation, N.S.: Not significance.

¹⁾: Others were buying a part or the whole.

²⁾: Cereals except rice.

³⁾: Others were mainly a meat diet or a mixed diet.

⁴⁾: Others were bottled water or water purifier.

중금속 농도에 영향을 미칠 수 있는 성별, 나이, 흡연여부, 음주여부, 쌀 자급여부, 식수원, 토양 중 중금속 농도간의 상호관련성을 통제하기 위해 다변량 회귀분석을 적용하여 분석한 결과는 Table 3과 같다.

혈중 Pb의 경우에 지역 주민의 혈중 Pb 농도를 종속변수로 하고, 이에 영향을 줄 수 있을 것으로 생각되는 독립변수들을 선택하여 분석모형에 투입한 다변량 회귀분석 결과, 통계학적으로 유의한 영향을 미치는 요인으로 성별, 토양 중 Pb 농도로 나타났다(각각, $p < 0.01$). 즉, 혈중 Pb는 남자가 유의하게 높았고, 그 지역 토양 중 Pb 농도가 높을 때 유의하게 높은 농도를 나타내었다. 이들 7개의 독립변수들로 구성된 회귀방정식의 설명력(R^2)은 16%였다.

혈중 Cd 농도에 통계학적으로 유의한 영향을 미치는 요인으로는 성별과 흡연여부로 나타났다(각각, $p < 0.05$). 즉, 혈중 Cd는 여자가 유의하게 높고, 흡연이 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이들 7개의 독립변수들로 구성된 회귀방정식의 설명력(R^2)은 8%였다. 단순분석에서 혈중 Cd 농도에 유의한 차이가 없었던 성별과 흡연여부가 독립변수들 간의 상호관련성을 통제한 다변량분석에서 유의하게 나타난 것은 여자의 흡연자 비율이 훨씬 낮아도 불구하고 남자보다 높은 카드뮴 농도를 나타낸 때문으로 여겨진다.

요중 As 농도에 통계학적으로 유의한 영향을 미치

는 요인으로는 성별이었으며($p < 0.01$), 설명력(R^2)은 7%였으며, 혈중 Hg 농도에 통계학적으로 유의한 영향을 미치는 요인으로는 성별, 나이, 토양 중 Hg으로 나타났다(각각, $p < 0.01$). 이들 독립변수들로 구성된 회귀방정식의 설명력(R^2)은 16%였다.

IV. 고 찰

본 연구는 기존의 폐금속 광산지역의 토양농도 또는 생체 내 중금속 농도의 평가방법 중 한 가지만 가지고 연구가 이루어진 것이 아니라 실제 토양농도와 생체 내 중금속과의 연관성을 비교하여 주민의 건강에 미치는 영향을 평가하는데 목적을 가지고 있다. 또한 생활환경 및 인구학적 특성의 차이로 인한 제한점은 있지만 기존의 연구결과와 비교를 하였다.

본 연구에서의 폐금속 광산 주변지역의 경작지 토양 중 Pb, Cd, As, Hg의 농도 분포는 모두 정규분포를 하지 않았으므로 평균치는 기하평균으로 산출한 바 전체지역의 중금속 농도는 Pb이 8.606 mg/kg, Cd이 0.186 mg/kg, As가 1.814 mg/kg, Hg이 0.035 mg/kg으로 조사되었다. 우리나라 밭 토양의 중금속 자연 함유량을 보고한 결과¹⁷⁾인 Pb 4.165 mg/kg, Cd 0.157 mg/kg, As 0.49 mg/kg보다 본 연구결과가 훨씬 높았고, 2007년도 환경부 토양측정망 운영결과¹⁸⁾에서의 토양 중 전국 평균 중금속 농도인 Pb 5.068 mg/

Table 3. Multiple regression analysis for the affecting factors on heavy metals concentration in blood or urine

	β coefficient	SE β	t-stat	R ²
Blood lead				
Constant	3.105	0.882	3.521	
Gender	-0.722	0.168	-4.284**	
Age	-0.011	0.008	-1.451	
Smoking status	0.075	0.199	0.376	
Drinking status	0.050	0.170	0.292	0.16
Self support type of rice	-0.217	0.194	-1.114	
Water source	0.174	0.161	1.081	
Pb concentration in soil	0.220	0.070	3.138**	
Blood cadmium				
Constant	0.655	0.770	0.851	
Gender	0.433	0.182	2.374*	
Age	0.016	0.008	1.917	
Smoking status	0.523	0.218	2.402*	
Drinking status	-0.120	0.185	-0.645	0.08
Self support type of rice	-0.031	0.211	-0.147	
Water source	-0.003	0.175	-0.020	
Cd concentration in soil	2.771	1.993	1.391	
Urine arsenic				
Constant	12.145	3.489	3.481	
Gender	-2.614	0.944	-2.769**	
Age	0.030	0.042	0.706	
Smoking status	-1.968	1.123	-1.754	
Drinking status	0.695	0.955	0.727	0.07
Self support type of rice	1.998	1.085	1.842	
Water source	-0.847	0.900	-0.941	
As concentration in soil	0.290	0.237	1.224	
Blood mercury				
Constant	4.292	0.628	6.833	
Gender	-0.647	0.167	-3.884**	
Age	-0.022	0.007	-2.951**	
Smoking status	-0.096	0.196	-0.490	
Drinking status	0.170	0.168	1.015	0.16
Self support type of rice	0.157	0.193	0.815	
Water source	0.205	0.158	1.299	
Hg concentration in soil	6.752	2.520	2.680**	

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$. Sex; 1=Male, 2=Female., Smoking; 1=Yes, 0=No. Drinking; 1=Yes, 0=No
Self support type of rice; 1=Self-sufficiency, 2=Others. Water source; 1=Ground water, 2=Others

kg, Cd 0.063 mg/kg, As 1.064 mg/kg, Hg 0.053 mg/kg과 비교하면 Hg를 제외하고는 본 조사지역의 토양 중 중금속 농도가 높아 폐금속 광산의 영향을 받은 것으로 여겨진다.

폐금속 광산 주변 거주 전체 주민의 혈중 평균 Pb

농도는 3.37 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 혈중 Cd 농도는 3.07 $\mu\text{g}/\text{l}$, 요중 As 농도는 10.41 $\mu\text{g}/\text{l}$, 혈중 Hg 농도는 2.32 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 나타나, 2008년 환경부에서 우리나라 전국의 일반 국민 20세 이상 남녀 5,129명을 대상으로 조사한 결과¹⁹⁾인 혈중 Pb의 평균농도 2.27 $\mu\text{g}/\text{d}$ 보다 높았으며, 혈중

Cd 농도의 경우도 2007년 환경부 결과²⁰⁾인 2.39 µg/l 보다 본 연구 대상자들이 더 높게 나타났다. 이러한 결과는 폐금속 광산지역 주민이 환경부의 일반 연구 대상자보다 평균 연령이 높을 뿐만 아니라, 폐금속 광산의 영향을 받은 것으로 판단된다. Sakong¹²⁾의 폐금속 광산지역 주민을 대상으로 한 연구 보고에 의하면 주민의 혈중 농도는 Pb가 5.37 µg/dl로 본 연구의 전체 평균보다 약간 높았고, 혈중 Cd는 3.3 µg/l로서 본 연구와 비슷하였으나, 요중 As농도는 8.08 µg/l로 보고하여 본 연구의 결과보다는 낮았는데 이는 분석 방법의 차이²¹⁾에 기인하여 나타날 수도 있다.

성별에 따른 주민의 혈액, 요중 중금속 농도는 혈중 Pb는 남성이 유의하게 높았는데 이는 국립환경과학원의 보고¹⁹⁾와 Chung 등²²⁾의 연구 결과와 유사한 경향이였다. 혈중 Cd 농도는 국립환경과학원의 보고¹⁹⁾에서도 남성 0.92 µg/l, 여성 1.08 µg/l로 여성이 약간 높은 수준을 보여 본 연구결과와 같은 경향을 나타냈으며, 요중 As, Hg도 국립환경과학원의 보고¹⁹⁾와 같은 경향을 나타냈다.

혈중 Cd, Hg, 요중 As 농도의 거주기간별 산술평균은 통계학적인 유의한 차이가 없었다. 혈중 Pb 농도의 산술평균은 거주기간에 따른 유의한 차이를 보였으며(p < 0.05), 거주기간 65년 이상 군이 3.67 µg/dl로 가장 높게 나타났는데 Song 등¹³⁾의 연구에서도 대상자들의 폐광지역에서의 거주기간을 10년 단위로 나누어 평균 Pb농도를 비교한 결과, 거주기간이 50년 이상인 대상자들의 평균 Pb농도가 다소 높은 경향을 보였다.

주민의 혈중 Pb, Cd 농도와 요중 As 농도는 연령에 따른 통계학적 유의한 차이가 없었으나, 혈중 Hg 농도는 연령이 증가함에 따라 유의하게 낮게 나타났다. Son 등²³⁾의 연구에 의하면 20대부터 50대까지는 혈중 Hg 농도가 연령이 증가할수록 높아지다가 60대 이후부터 낮아지는 경향을 나타낸다고 하여 본 조사에서의 경향과 유사하였다. 이는 Lee 등²⁴⁾의 연구에서 보고된 것처럼 해산물, 어패류 등의 선호도 및 섭취량에 의한 영향도 있을 것으로 생각된다.

혈중 Pb의 평균농도는 흡연군이 3.68 µg/dl로 비흡연군의 3.27 µg/dl에 비하여 유의하게 높았는데(p < 0.05), 국립환경과학원의 보고¹⁹⁾에서도 흡연자가 3.01 µg/dl로 비흡연자의 2.09 µg/dl에 비해 유의하게 높게 나타났다. Lee²⁵⁾의 연구에서도 혈중 Pb 농도가

흡연군에서 유의하게 높게 나타났다고 보고하였고, Chung 등²²⁾의 연구에서도공단지역과 주거지역 모두 흡연자들의 혈중 Pb 농도가 통계적으로 유의하게 높은 농도로 평가되었다. 반면에 혈중 Cd와 Hg, 요중 As 농도는 흡연여부에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 흡연은 혈중 Cd 농도에 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있어 비흡연자에 비해 흡연자의 혈중 Cd 농도가 높지만,^{26,31)} 본 연구는 Jeong 등³²⁾의 연구와 같이 흡연에 따른 차이를 보이지 않았는데 이는 흡연자의 표본수가 적고 Cd가 다른 중금속보다도 혈액이나 소변에서는 매우 일시적으로만 존재하고 대부분 낮은 농도로 검출되기 때문인 것으로 판단된다. 혈중 Pb과 Cd 농도, 요중 As 농도는 음주여부에 따른 유의한 차이가 없었으나, 혈중 Hg은 음주군이 2.54 µg/l로 비음주군의 2.18 µg/l보다 유의하게 높았다(p < 0.05). 이는 국립환경과학원의 보고¹⁹⁾에서 음주군이 혈중 Hg 농도가 유의하게 높았다고 한 것과 같은 경향을 나타냈다.

폐금속 광산 주변지역 주민의 각 식품의 자급형태에 따른 혈액, 요중 중금속 농도는 쌀, 곡류(쌀 제외) 및 콩류의 자급여부에 따른 주민의 혈액, 요중 중금속 농도의 유의한 차이는 없었다. 이는 조사대상지역이 비닐하우스를 이용한 특용작물재배를 많이 하고 있고, 주식인 쌀을 자급하는 주민이 적은 것도 한 이유로 생각된다.

주민의 선호식품 및 식수원에 따른 혈액, 요중 중금속 농도의 통계학적인 유의한 차이는 나타나지 않았다. Song 등¹³⁾의 연구에서도 폐광산 주변지역과 대조지역에서 선호식품에 따른 체내 중금속 농도의 유의한 차이가 없었다.

혈중 Pb는 지역 주민의 혈중 Pb 농도를 종속변수로 하고, 이에 영향을 줄 수 있을 것으로 생각되는 독립변수들을 선택하여 분석모형에 투입한 다변량 회귀분석 결과, 통계학적으로 유의한 영향을 미치는 요인으로 성별, 토양 중 Pb 농도로 나타났으며, 회귀방정식의 설명력(R²)은 16%였다. 혈중 Cd 농도에 통계학적으로 유의한 영향을 미치는 요인으로는 성별과 흡연여부로 나타났다. 즉, 혈중 Cd은 여자가 유의하게 높고, 흡연이 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이들 7개의 독립변수들로 구성된 회귀방정식의 설명력(R²)은 8%였다. 단순분석에서 혈중 Cd 농도에 유의한 차이가 없었던 성별과 흡연여

부가 독립변수들 간의 상호관련성을 통제한 다변량 분석에서 유의하게 나타나 기존의 연구 결과들^{19,33)}과 같은 경향을 보였다. 요중 As 농도에 통계학적으로 유의한 영향을 미치는 요인으로는 성별이었으며 ($p < 0.01$), 설명력(R^2)은 7%였다. Lee 등²¹⁾이 보고한 바와 같이 요중 As 농도는 섭취하는 해산물의 양과 종류에 대부분의 영향을 받으므로 해서 상대적으로 토양 중 As 농도의 영향이 적게 나타나는 것이 아닌가 생각된다. 혈중 Hg 농도에 통계학적으로 유의한 영향을 미치는 요인으로는 성별, 나이, 토양 중 Hg로 나타났으며, 이들 독립변수들로 구성된 회귀 방정식의 설명력(R^2)은 16%였다.

본 연구결과를 통해 폐금속 광산 주변 토양은 높은 중금속 농도를 나타내고 있으며, 지역주민의 생체 내 중금속 농도도 높다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 지역의 특성상 조사인구집단의 연령이 고연령층이라는 제한점도 있었다. 따라서 현재 전국에 산재되어 있는 폐금속 광산지역에 대한 지속적인 연구가 필요하며 이에 따른 관리대책이 있어야 할 것으로 여겨진다.

V. 결 론

본 연구는 2009년 3월부터 2009년 11월까지 충남에 위치한 모 폐금속 광산 영향권 하에 있는 4개 마을을 대상으로 주변 농경지 102곳의 토양 중 납(Pb), 카드뮴(Cd), 비소(As) 및 수은(Hg) 농도를 조사하고 동시에 지역주민 216명의 혈액 중 Pb, Cd, Hg 농도와 요중 As 농도를 분석하여 폐금속 광산 영향권 지역의 토양 중 중금속 농도와 주민들의 혈액이나 요 중 중금속 농도와의 관련성을 조사하기 위하여 수행되었다.

폐금속 광산지역의 마을별 토양 중 Pb와 Cd의 농도가 높은 지역일수록 주민의 혈중 Pb와 Cd 및 Hg의 농도도 높은 경향을 보였다. 지역주민의 성별 중금속 농도는 남자가 혈중 Pb와 Hg(각각, $p < 0.01$), 요중 As 농도($p < 0.05$)가 유의하게 높았고, 연령에 따른 체내 중금속 농도는 혈중 Hg 농도만이 연령이 증가할수록 유의하게 감소되었다($p < 0.01$). 지역주민의 거주기간에 따라서 혈중 Pb 농도가 유의하게 높았으며($p < 0.05$), 흡연군에서 혈중 Pb 농도가 유의하게 높았으며($p < 0.01$), 음주군에서는 혈중 Hg 농도가 유의하게 높았다($p < 0.05$). 지역주민의 쌀, 곡류,

두류의 자급유무와 선호 식습관 형태 및 식수에 따른 인체 내 중금속 농도는 모두 유의한 차이가 없었다. 체내 중금속 농도에 영향을 주는 요인들에 대한 다변량분석 결과, 토양 중 Pb와 Hg의 경우 주민의 혈중 Pb와 Hg에 유의한 영향을 주는 요인으로 확인되었다.

이상의 결과에서 볼 때 폐금속 광산지역 주민들의 체내 중금속 농도는 토양 중의 중금속 농도와 대체로 관련이 있는 것으로 조사되었으며, 특히 토양 중 Pb와 Hg 농도와는 유의한 관련성이 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원 연구사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee CH, Jun KS, Won YS, Shin DG, Jeung JW, Park BS. Distributions of heavy metal concentrations around the Keumjung mine area. *J Korean Soc Environ Eng.* 1999; 21(10): 1945-1958.
2. Kosung-gun. Health assessment of residents in the vicinity of abandoned mines in Kosung-gun. Seoul: Ministry of Environment; 2004.
3. Park JA, Son SS, Yang WH, Yang JK, Uh SM, Jang BK, et al. New environmental health. Seoul: Dongwha Technology Press; 2008. p.140-148.
4. Jung MC, Thornton I, Chon HT. Arsenic, Sb and Bi contamination of soils, plants, waters and sediments in the vicinity of the Dalsung Cu-W mine in Korea. *Sci Total Environ.* 2002; 295(1-3): 81-89.
5. Murgueyio AM, Evans RG, Roberts D, Moehr T. Prevalence of childhood lead poisoning in a lead mining area. *J Environ Health.* 1996; 58(10): 12-17
6. Lynch RA, Malcoe LH, Skaggs VJ, Kegler MC. The relationship between residential lead exposures and elevated blood lead levels in a rural mining community. *J Environ Health.* 2000; 63(3): 9-15.
7. Weislo E, Ioven D, Kucharski R, Szduj J. Human health risk assessment case study: an abandoned metal smelter site in Poland. *Chemosphere.* 2002; 47: 507-515.
8. Passariello B, Giuliano V, Quaresima S, Barbaro M, Caroli S, Forte G, et al. Evaluation of the environmental contamination at an abandoned mining site.

- Microchem J.* 2002; 73: 245-250.
9. Aslibekian O, Moles R. Environmental risk assessment of metals contaminated soils at silver mines abandoned mine site, Co Tipperary, Ireland. *Environ Geochem Health.* 2003; 25(2): 247-266.
 10. Coelho P, Silva S, Roma-Torres J, Costa C, Henriques A, Teixeira J, et al. Health impact of living near an abandoned mine-case study: Jales mines. *Int J Hyg Environ Health.* 2007; 210(3-4): 399-402.
 11. Chung JH, Kim CY, Lee KS, Hwang TY, Kim GT, Park JS, et al. Blood Pb, urine Cd and health assessment of residents in the vicinity of abandoned mines in Gyeongsangbuk-do. *Korean J Occup Environ Med.* 2005; 17(3): 225-237.
 12. Sakong J. Health risks associated with contamination of environment by abandoned mines. *Yeungnam Univ J of Med.* 2007; 24(2): 212-220
 13. Song SH, Eom SY, Kim YD, Kim H, Hong JS. Blood lead level in populations resident in some abandoned mine area. *J Environ Sci.* 2010; 19(4): 527-532.
 14. Lee JW, Kwak SS, Hong SC, Park SI, Jang BK. Investigation and risk assessment of heavy metals contamination around an abandoned metal mine in Korea. *J Environ Health Sci.* 2010; 36(6): 456-464.
 15. Kim HJ, Kim BG, Kim DS, Seo JW, Yu BC, Kim YW, et al. Blood and urinary cadmium concentration of residents around abandoned metal mines in Busan and Gyeongsangnam-do. *Korean J Occup Environ Med.* 2010; 22(1): 1-10.
 16. Kim SH, Cho YM, Choi SH, Kim HJ, Choi JW. The effect of exposure factors on the concentration of heavy metals in residents near abandoned metal mines. *J Prev Med Public Health.* 2011; 44(1): 41-47.
 17. Yoon YH. A study on the urinary Cd concentration of residents in the vicinity of an abandoned metal mine [dissertation]. [Seoul]: Seoul National University; 2007.
 18. Ministry of Environment. Soil measurement site and soil pollution survey. Seoul: Ministry of Environment; 2008.
 19. National Academy of Environmental Science. Research of toxic substance in biomarkers of residents in Korea. Seoul: Ministry of Environment; 2008.
 20. National Academy of Environmental Science. Research of toxic substance in biomarkers of residents in Korea. Seoul: Ministry of Environment; 2007.
 21. Lee JH, Lee US, Hong SC, Jang BK. A study on the optimal analytical method for the determination of urinary arsenic by hydride generation-atomic absorption spectrometry. *J Environ Health Sci.* 2009; 35(5): 402-410.
 22. Chung Y, Yang JY, Lee H, Jang JY. Determination of blood lead levels in adolescents in Korea. *Proceeding of Korean Soc Atmospheric Environ.* 1998; p.136-137.
 23. Son DJ, Choi EM, Seo YS, Lee SM. Characterization of blood mercury levels in adults in Korea. *Proceeding of the 47th Meeting of Korean Soc Atmospheric Environ.* 2008; p.417-418.
 24. Lee WS, Kim DH. Mercury contents of scalp hair by consumption pattern of fishes, shellfishes and its products. *J Preventive Med and Public Health.* 1994; 27(1): 44-58.
 25. Lee HJ. The effect of food, nutrient intake status and blood heavy metal levels according to smoking status in adult men [dissertation]. [Seoul]: Ewha University; 2008.
 26. Lee SH, Kim HA, Park CY, Lee BK, Lee KM, Cho KS. Blood cadmium concentration in occupationally non-exposed Korean to cadmium. *Korea J Occup Health.* 1986; 25(4): 103-107.
 27. Yeon YY, Ahn KD, Lee BK. Blood and urine levels in non-exposed Korean to cadmium. *Korea J Occup Med.* 1992; 4(1): 70-80.
 28. dell'Omo M, Muzi G, Piccinini R, Gambelunghie A, Morucci P, Fiordi T, et al. Blood cadmium concentrations in the general population of Umbria, central Italy. *Sci Total Environ.* 1999; 226(1): 57-64.
 29. Kim HJ, Hong YS, Kim DS, Lee MJ, Ye BJ, Kim YW, et al. The levels of blood lead and cadmium in urban and rural population in Korea. *J Life Sci.* 2009; 19(4): 472-478.
 30. Forte G, Madeddu R, Tolu P, Asara Y, Marchal JA, Bocca B. Reference intervals for blood Cd and Pb in the general population of Sardinia (Italy). *Int J Hyg Environ Health.* 2011(2); 214: 102-109.
 31. Kim NS, Lee BK. National estimates of blood lead, cadmium, and mercury levels in the Korean general adult population. *Int Arch Occup Environ Hlth.* 2011; 84(1): 53-63.
 32. Jeong HS, Lee DB, Cho YC. A study on the blood lead and cadmium concentration levels of rural residents. *Res Rep Env Sci Tech Chungnam Univ Korea.* 1991; 9: 61-73.
 33. Chang SS, Kyun YH, Bae JS, Roh YM, Han JG. Blood cadmium concentration according to exposure of smoking adolescence. *J Korean Soc School Health.* 2001; 14(2): 207-212.