

Original Article

일부 폐금속광산 주변지역 중금속 노출요인이 지역주민 체내 중금속농도 및 생체지표에 미치는 영향

김상후¹, 조용민², 최승현², 김해준¹, 최재욱¹
¹고려대학교 의과대학 예방의학교실; ²고려대학교 환경의학연구소

The Effect of Exposure Factors on the Concentration of Heavy Metals in Residents Near Abandoned Metal Mines

Sanghoo Kim¹, Yong-Min Cho², Seung-Hyun Choi², Hae-Joon Kim¹, Jaewook Choi¹

¹Department of Preventive medicine, Korea University, College of Medicine;
²Institute for Occupational & Environmental Health at Korea University

Objectives: This study assessed the factors that have an influence on the residents exposed to heavy metals, and we utilized the findings to establish the proper management of abandoned metal mines in the future.

Methods: For a total of 258 residents who lived close to abandoned mines in Gangwon-province and Gyeonggi-province, the exposure factors and biomarkers in their blood and urine were comparatively analyzed via multiple regression analysis.

Results: The blood levels of lead and mercury and the cadmium levels in urine were found to be higher in the study group than that in the average Korean. For the blood levels of heavy metals according to each exposure factor, all of them were found to be significantly higher in both of the group residing for a longer period of time and the group living closer to the source of pollutants. Multiple regression analysis disclosed that all the heavy metals, except lead, in their blood were significantly reduced in proportion to the increased distance of inhabitancy from the mines. Their other biomarkers were within the normal ranges.

Conclusions: We found that the distance between the residential village and the mines was a factor that affects the blood level of heavy metals in the villagers. This finding could be an important factor when developing a management model for the areas that surround abandoned metal mines. (ED note: I much like this important study.)

Key words: Biological marker, Environmental exposure, Heavy metal, Mining
J Prev Med Public Health 2011;44(1):41-47

서론

1960년대 국가적인 경제개발 정책의 일환으로 추진되었던 광산개발은 고비용과 수입 원자재 대체 등의 문제로 1980년대 이후 급격히 쇠퇴하였다 [1]. 이와 함께 과거에 왕성히 이루어지던 금속 채굴도 급감해 현재는 대부분이 휴, 폐광산으로 남아있다 [2]. 기록이 남아 있지 않아 집계되지 않은 폐금속광산도 상당수 산재하고 있으며 이에 대한 체계적인 관리가 이루어지지 않고 있는 실정이다 [1,2]. 따라서 광산 폐기물, 채광 및 제련 시설물 방치 등 광업활동의 중단에 따른 토양정비 및 환경보호 조치의 미흡은 광산주변지역 중금속 오염의 요인으로 작용하게 되었다 [3]. 특히

금속광산의 폐광 이후 방치되었던 각종 중금속, 화학약품 및 폐기물 등에 의한 토양, 수질 오염과 그에 따른 농작물 오염 및 주변지역 주민들의 건강영향에 대한 문제가 제기되고 있다 [1-4]. 2004년 폐금속광산 주변 지역 주민들에 대한 카드뮴 중독 논란으로 사회적 관심을 일으킨 경남 고성군 병산마을에 대한 건강영향 조사에서는 폐금속광산 지역 주민들의 체내 중금속 농도가 대조지역에 비하여 유의하게 높은 결과를 보였으며, 거주기간이 길수록 요중 카드뮴 농도가 증가하는 경향을 보였다 [3]. 그 밖에 경기도 가학광산, 경북 수철광산 등을 대상으로 한 연구들에서도 주민들의 체내 중금속 농도가 대조군에 비하여 유의하게 높은 것으로 보고되었다 [2,4]. 해외 연구에서도 폐금속광산 지역의

환경오염이 주변 지역 주민들에게 미치는 영향을 규명하기 위하여 건강 위험성을 평가하고 그에 대한 심각성과 대책 마련의 필요성을 보고하고 있다 [5-7]. 특히 폐금속광산 주변 지역 주민들의 납, 카드뮴 혈중 농도가 대조지역에 비하여 높거나 일정수준 이상을 보이는 고위험군의 비율이 높게 보고되었다 [5,6]. 또한 대조지역에 비하여 상대적으로 높은 중금속 관련 질병 유병율을 보여 폐금속광산과 건강영향간의 유의한 상관성이 보고된 바 있다 [7]. 많은 노출군, 대조군 연구를 통하여 폐금속 광산 지역 주민의 체내 중금속 농도가 대조지역 보다 높은 결과는 있으나 노출 요인 및 경로의 영향에 대한 세부적인 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 폐금속광산 지역 주민들의 체내 중금속 농도와 이에 미치는 요인을 찾기 위하여 지역 주민들의 거주기간, 오염원과 거주지의 거리, 지하수 음용여부 및 농작물의 자급자족에 따른 중금속 농도를 비교해보고 관련 요인을 판단하여 건강영향 생체지표와의 관계를 알아보려고 한다.

대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상지역은 환경부가 2007년 실시한 폐금속광산 예비 주민건강영향조사에서 중금속 오염정도가 높게 나타난 강원도의 A 폐금속광산과 경기도의 B 폐금속광산으로 선정하였다. A 폐금속광산은 1930년대부터 1990년대 말까지 금과 은을 채굴하였으며 B 폐금속광산도 1930년대부터 1990년대 말까지 금, 은, 연 등의 광석이 채취되었다. 또한 두 광산에서 주요 오염원으로 추정되는 광미처리장 및 선광장이 하천 주변에 위치하는 점, 주변 지역은 평지보다 임야가 대부분인 점이 공통적으로 나타나 두 지역을 하나의 폐금속 광산지역으로 묶어서 분석하였다.

A 폐금속광산의 경우 인접 거주지역 C리 주민 112명과 B 폐금속광산의 경우 인접 거주지역인 D리, E리 주민 146명을 연구 대상으로 선정하였다. 본 연구는 국립환경과학원의 의학연구 윤리위원회(IRB)로부터 검토 및 승인을 받았고 대상자들에게는 연구 목적과 관련내용을 설명한 후 서면동의를 받았다.

2. 연구방법

폐금속광산 인근지역 실제 거주 주민들에 대한 설문조사는 사전에 본 연구에 관하여 충분한 교육을 받은 조사원들에 의하여 실시되었으며 대상자들과의 직접 면담에 의하여

이루어졌다. 설문조사의 내용은 성별, 연령, 거주기간, 음주여부, 흡연여부, 24시간 이내 해산물 섭취여부, 중금속 노출요인등을 포함하였다. 노출요인으로는 오염원으로부터 거주거리, 거주기간, 지하수 음용여부 및 쌀의 자급자족여부를 살펴보았다. 거주거리의 경우 오염원으로부터 실제 거주지 주소까지 위성항법장치를 이용하여 직선거리를 측정하였다. 지하수 음용 여부와 자급자족의 여부는 지하수를 음용수로 사용하는 집단과 그렇지 않은 집단, 쌀을 자급자족하는 집단과 구입하여 먹는 집단으로 구분하여 알아보았다. 체내 중금속 채취, 분석 및 건강평가를 위하여 채혈과 채뇨를 실시하였고 생체시료의 분석항목은 혈중 납, 카드뮴, 수은 및 요중카드뮴, 비소였다. 그리고 추가적으로 일반혈액검사, 간기능 검사, 신장기능 검사를 실시하였다. 채취된 시료는 시료이송 전문인력에 의하여 이송되어 각 시료는 분석전문기관에 의해 일괄적으로 분석, 평가되었다. 분석의 신뢰성을 검증하기 위하여 기준 값과 실험결과를 비교하여 확인하였으며 회수율시험과 공시료 분석을 실시하였다.

3. 분석방법

생체시료의 분석항목은 혈중 납, 혈중 카드뮴, 혈중 수은, 요중 카드뮴 그리고 요중 비소로 하였으며 채취된 시료는 시료이송 전문인력에 의하여 이송되어 각 시료는 분석전문기관에 의해 일괄적으로 분석, 평가되었다. 혈중 납의 분석에는 원자흡광광도 측정로법이 사용되었고 검출 한계치는 0.0 mg/dL였다. 생체시료 중 혈중 납을 분석하기 위하여 산처리된 샘플컵에 0.1% Trion X-100, 표준 용액, 전혈을 차례로 넣고 충분히 혼합하였다. 분석장비로는 원자흡광광도계 Z-2700와 Z-8100 이 사용되었으며 교차분석으로는 AAnalyst 600이 사용되었다. 혈중 및 요중 카드뮴의 경우 검출 한계치는 각각 0.09 mg/L, 0.15 mg/g Cr 이었고 혈중 카드뮴의 분석을 위하여 산처리를 마친 실험튜브를 준비하여 시료를 주입하였다. 0.2% Trion X-100의 제조에는 Trion X-100과 (NH₄)₂HPO₄ 증류수가 사용되며 순서대로 주입 후 30분 간 혼합하였다. 원자흡광광도 측정로법의 분석장비로서 SpectrAA340Z이 사용되었다. 요중 비소와 혈중 수은의 검출 한계치는 0.05 mg/g Cr, 0.08 mg/dL이었다. 시료전처리 시에는 시약주입순서 오류, 분석순서 오류 등의 오차가 발생되지 않도록 라벨링을 하고 시료주입을 한 후 반복하여 작업 목록을 작성하도록 하였다. 시료 1mL를 15mL test tube에 옮기고 c-HCl 1mL와 5% KI/Arsorbic acid 1mL를 차례로 첨가하여 한 시간 방치 후 증류수로 표선을 맞추고 분석하였다. 요중 비소 분석 장비로는 원자흡광광도계 AAnalyst 800과 FIAS-400, AAnalyst 600과 FIMS-400가 사용

Table 1. Characteristics of study group

Variables	n (%)
Sex	
Male	130 (52.4)
Female	118 (47.6)
Age (y) Mean±SD	50.1±23.9
Period of residence(y)	
Mean±SD	33.6±23.7
< 20	98 (39.5)
20 - 50	69 (27.8)
> 50	81 (32.7)
Smoking	
Non-smoker	168 (67.7)
Ex-smoker	23 (9.3)
Smoker	57 (23.0)
Alcohol	
Non-drinker	156 (62.9)
Drinker	92 (37.1)
Drinking water from the communal wells	
Yes	164 (66.1)
No	84 (33.9)
Diet of local grains	
Yes	143 (57.7)
No	105 (42.3)
Distance from pollution source¹ (km)	
Mean±SD	3.14±1.56
< 2	52 (21.5)
2 - 5	148 (61.2)
> 5	42 (17.4)

SD: standard deviation.

¹6 missing values.

되었다. 혈중 수은 분석장비로는 NIC MA-2가 사용되었으며 시료의 전처리로서 분석 전 혈액은 roller mixer로 충분히 섞어주었다. 보트에 additive B 시약을 바닥에 깔고 시료를 100 μ 주입한 후 다시 additive B 시약을 시료 위에 덮고 additive M 시약으로 덮었다. 분석의 신뢰성을 검증하기 위하여 참고 물질을 분석하여 기준 값과 실험결과를 비교하여 확인하였으며 회수율시험과 공시료 분석을 실시하였다.

본 연구의 통계분석은 SPSS version 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 를 이용하여 시행하였고, 본 연구에서 분석된 혈중 및 요중 생체지표가 대수정규분포 형태를 보여 대수변환후 기하평균을 사용하였다. 폐금속광산 인근지역 주민 체내 중금속 농도를 국민 평균 중금속 농도와 비교하였고 각 생활특성에 따른 체내 중금속 농도를 비교하는데 있어 student's *t*-test, ANOVA를 이용하여 분석하였다. 체내 중금속 농도간의 상관성 분석을 위하여 Pearson의 상관계수를 구하였으며 체내 중금속 농도에 영향을 미치는 요인을 찾아보기 위하여 다중 회귀분석을 수행하였다. 평균비교분석시 음용수는 지하수를 마시는 집단과 그렇지 않은 집단으로 구별하였고, 자급자족과 관련해서는 쌀의 자급자족 여부를 통하여 두 집단으로 구별하였다. 거주거리는 2 km 이내, 2~5 km, 5 km 초과로 세 집단으로 구별하였고, 거주기간은

Table 2. Comparison between results of heavy metal levels in study group and Korean average

Variables	Subjects GM (95% CI)	National average ¹ GM (95% CI)
Blood Pb (μ g/dl)*	3.26 (3.08 - 3.44)	1.98 (1.95 - 2.01)
Urine As (μ g/g cr)	10.99 (9.46 - 12.51)	45.08 (44.17 - 46.00)
Blood Hg (μ g/l)*	3.35 (3.00 - 3.70)	3.00 (2.93 - 3.07)
Blood Cd (μ g/l)	0.80 (0.71 - 0.89)	1.02 (0.92 - 1.08)
Urine Cd (μ g/g cr)*	1.11 (0.91 - 1.31)	0.76 (0.73 - 0.78)

Pb: lead, As: arsenic, Hg: mercury, Cd: cadmium, GM: geometric mean, CI: confidence interval.

¹Ministry of Environment Korea, 2008 [1].

**p*<0.01 by *t*-test.

20년 미만, 20-50년, 50년 초과로 세 집단으로 구별하였다. 다중 회귀분석시 거주기간과 거주거리는 연속형 변수를 이용하여 분석하였으며 모든 생체 지표는 대수변환하였다. 또한 범주형 변수는 모두가 변수 처리하였으며 *p*-value가 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 의미 있다고 판단하였다.

결 과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같으며 평균나이는 50.1세이고 평균 거주기간은 33.6년이었다. 지하수를 음용수로 사용하는 집단이 전체의 66.1%였으며, 자급자족과 관련해서는 쌀을 자급자족하는 집단이 전체의 57.7%이었다. 거주거리는 주소미기재자 6명을 제외하고 평균 3.14 km였으며, 2 km 이내 근접지역에 거주하는 대상자는 전체 21.5%로 조사되었다.

2. 생체시료 분석 결과

폐금속광산 인근지역의 전체 조사 대상자 258명 중 시료 채취 불가능으로 누락된 대상자를 제외하고 최종 분석에 사용된 혈액 시료는 256개였으며, 소변 시료는 257명이었다. 조사 대상자들의 체내 중금속 평가 결과는 2008년 환경부에서 전국 20세 이상 남녀 5129명을 대상으로 실시한 국민 체내 중금속 농도 평균 [8]과 비교하였다 (Table 2). 그 결과 혈중 카드뮴과 요중 비소를 제외한 모든 중금속에 있어 폐금속광산 인근지역이전국 평균에 비하여 높은 농도였으며 이는 통계적으로 유의하였다 (*p*<0.05). 그러나 전국 평균 요중 비소의 농도는 3가 비소, 5가 비소, monomethylarsenic acid 및 dimethylarsenic acid를 모두 포함함수치이므로 직접비교 대상이 되지 못했다. 자료는 제시되지 않았으

Table 3. Comparison of heavy metal levels in each group

Group	Blood Pb (mg/dL)	Urine As (mg/g Cr)	Blood Hg (mg/L)	Blood Cd (mg/L)	Urine Cd (mg/g Cr)
Period of residence (y) Mean±SD					
< 20	2.71 ± 0.40	7.95 ± 0.64	3.10 ± 0.54	0.60 ± 0.61	0.53 ± 1.12
20 - 49	3.38 ± 0.32	12.85 ± 0.70	3.27 ± 0.72	0.96 ± 0.55	1.61 ± 0.79
> 50	3.95 ± 0.37	13.99 ± 0.53	3.79 ± 0.78	0.99 ± 0.57	1.85 ± 0.70
p-value ¹	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Distance from pollution source (km) Mean±SD					
> 5	2.58 ± 0.39	7.52 ± 0.67	2.42 ± 0.61	0.51 ± 0.57	0.45 ± 0.90
2 - 5	3.41 ± 0.37	11.56 ± 0.64	3.57 ± 0.69	0.85 ± 0.63	1.19 ± 1.05
< 2	3.45 ± 0.45	13.40 ± 0.67	3.72 ± 0.67	0.95 ± 0.49	1.76 ± 0.85
p-value ¹	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
Drinking water from the communal wells Mean±SD					
No	3.04 ± 0.38	9.53 ± 0.70	3.28 ± 0.62	0.73 ± 0.66	0.94 ± 1.02
Yes	3.38 ± 0.41	11.81 ± 0.65	3.39 ± 0.71	0.84 ± 0.61	1.21 ± 1.09
p-value ¹	0.03	0.18	0.38	0.38	0.04
Diet of local grains					
No	3.09 ± 0.37	9.88 ± 0.71	3.03 ± 0.63	0.78 ± 0.62	1.00 ± 1.18
Yes	3.52 ± 0.39	12.66 ± 0.60	3.64 ± 0.73	0.88 ± 0.64	1.32 ± 0.89
p-value ¹	0.07	0.12	0.01	0.14	0.416

Unit is geometric mean±standard deviation.

Pb: lead, As: arsenic, Hg: mercury, Cd: cadmium.

¹Analysis of variance.

Table 4. Linear regression modeling in relations of exposure factors with levels of heavy metals

	β coefficient	SE	p-value ³	95% CI
Period of residence (y)				
Blood Pb (mg/dL) ¹	0.01	0.01	0.77	-0.01, 0.01
Urine As (mg/g cr) ²	-0.02	-0.02	0.37	-0.01, 0.01
Blood Hg (mg/L) ¹	0.01	0.01	0.89	-0.01, 0.01
Blood Cd (mg/L) ¹	-0.01	-0.04	0.64	-0.01, 0.01
Urine Cd (mg/g cr) ¹	0.01	0.01	0.55	-0.01, 0.01
Distance from pollution source (km)				
Blood Pb (mg/dL) ¹	-0.11	0.14	0.44	-0.04, 0.02
Urine As (mg/g cr) ²	-0.07	0.03	<0.01	-0.13, -0.02
Blood Hg (mg/L) ¹	-0.1	0.03	0.01	-0.15, -0.04
Blood Cd (mg/L) ¹	-0.09	0.02	<0.01	-0.14, -0.04
Urine Cd (mg/g cr) ¹	-0.16	0.04	<0.01	-0.23, -0.09
Drinking water from the communal wells (0:No, 1:Yes)				
Blood Pb (mg/dL) ¹	-0.03	0.05	0.46	-0.12, 0.06
Urine As (mg/g cr) ²	-0.05	0.07	0.45	-0.18, 0.79
Blood Hg (mg/L) ¹	-0.04	0.10	0.70	-0.23, 0.15
Blood Cd (mg/L) ¹	-0.11	0.08	0.14	-0.26, 0.04
Urine Cd (mg/g cr) ¹	-0.24	0.13	0.06	-0.49, 0.01
Diet of local grains (0:No, 1=Yes)				
Blood Pb (mg/dL) ¹	0.01	0.04	0.98	-0.09, 0.09
Urine As (mg/g cr) ²	0.06	0.08	0.42	-0.09, 0.22
Blood Hg (mg/L) ¹	0.11	0.09	0.24	-0.07, 0.29
Blood Cd (mg/L) ¹	-0.01	0.08	0.91	-0.16, 0.14
Urine Cd (mg/g cr) ¹	0.03	0.12	0.81	-0.21, 0.27

SE: standard error, CI: confidence interval, Pb: lead, As: arsenic, Hg: mercury, Cd: cadmium.

¹adjusted by sex, age, alcohol, and smoking history.

²adjusted by sex, age, alcohol, smoking history, eating seafood in less than 24 hours, and using pesticides.

³Statistical analysis by multiple regression.

나 각 체내 중금속간의 상관관계를 분석한 결과 혈중 카드뮴과 요중 카드뮴을 제외한 모든 중금속간의 상관관계수가 0.1-0.25로 낮은 상관성을 보였다.

본 연구에서는 폐금속광산 지역 주민들의 오염 노출 요인으로 폐금속광산 지역에서의 거주기간, 오염원으로부터

의 거주거리, 지하수의 음용현황, 쌀의 자급자족률등을 고려하였으며각 요인에 따른 체내 중금속 농도를 집단별로 비교 분석하였다 (Table 3). 거주기간에 따른 체내 중금속 농도는 거주기간이 긴 집단으로 갈수록 모두 유의하게 증가하였고, 거주거리에 따른 비교에서는 거리가 가까울 수

Table 5. Comparison of biomarkers in each group by distance

Variables	Distance from pollution source (km)Mean ± SD ¹			p-value ²
	> 5	2 - 5	< 2	
Hemoglobin (g/dL)	14.33 ± 0.09	13.59 ± 0.13	13.51 ± 0.08	0.01
Cholesterol (mg/dL)	175.76 ± 0.17	177.90 ± 0.22	193.82 ± 0.20	0.03
r-GTP(mg/dL)	12.61 ± 0.97	19.81 ± 0.87	21.00 ± 0.39	<0.01
Total protein (g/dL)	7.57 ± 0.07	7.05 ± 0.07	6.93 ± 0.05	0.03
Total bilirubin (mg/dL)	0.60 ± 0.47	0.62 ± 0.35	0.73 ± 0.31	0.01
NAG (u/L)	4.48 ± 0.73	3.54 ± 0.88	3.08 ± 0.91	0.33
β 2-MG (mg/L)	0.05 ± 0.98	0.07 ± 1.08	0.06 ± 0.87	0.24

r-GTP: γ -glutamyltranspeptidase, NAG: N-acetyl- β -D-glucosaminidase, β 2-MG: β 2-microglobulin.

¹Geometric mean±standard deviation.

²Analysis of variance.

록 모든 중금속 농도는 유의하게 증가하였다. 음용수에 따른 비교에서는 지하수를 마시는 집단이 그렇지 않은 집단에 비하여 체내 중금속 농도가 모두 높았으나 혈중 납과 요중 카드뮴에서만 그 차이가 유의하였다. 쌀의 자급자족에 의한 비교에서는 자급자족 하는 집단에서 모든 체내 중금속 농도가 높았으나 혈중 수은에서만 유의하였다.

폐금속광산 지역 조사 대상자들의 체내 중금속 농도에 영향을 미칠 수 있는 관련요인들을 알아보기 위하여 체내 중금속 농도에 영향을 줄 수 있는 주요 변수들을 통제하여 다중회귀분석을 실시하였다 (Table 4). 체내 중금속 농도에 영향을 미치는 변수로서 성별, 나이, 흡연 및 음주습관을 고려하였다. 요중 비소의 경우 해산물 섭취로 인한 비소 배설량 증가 및 농약 사용에 따른 노출을 고려하여 24시간내 해산물 섭취 여부 및 농약 사용여부를 포함하여 분석을 실시하였다. 분석 결과 거주기간, 지하수 음용 여부, 쌀 자급자족 여부의 요인이 체내 중금속에 유의하게 영향을 미치지 않았으며 거주거리에서는 거주거리가 멀어 질수록 혈중 납을 제외한 네가지 체내 중금속농도가 유의하게 감소되었다. 또한 모든 다중회귀분석에서 각 변수간의다중 공선성을 분석하였으나 결과는 유의하지 않았다.

거주 거리에 따른 지역주민들의 조혈, 간, 신장 기능 손상 여부를 알아보기 위하여 헤모글로빈, 혈중총 단백질, 혈중총 빌리루빈, 혈중총 콜레스테롤, γ glutamyltranspeptidase (γ -GTP), N-acetyl- β -D-glucosaminidase(NAG), β 2-microglobulin(β 2-MG)를 비교 분석하였다 (Table 5). 그 결과 거주거리가 오염원으로 가까워 질수록 혈중 콜레스테롤, γ GTP, 혈중 총빌리루빈이 유의하게 증가하였고, 헤모글로빈과 혈중 총 단백질에서 유의하게 감소하는 양상을 보였다. 신장 손상 지표인 NAG와 β 2-MG는 유의한 차이를 보이지 않았다.

고찰

본 연구는 폐금속광산 지역주민의 혈중 및 요중 중금속 농도를 측정하여 전국 국민 평균값 [8]과 비교하였고 노출 요인을 파악하여 생활습관 및 사회 인구학적 요인을 보정하였을 때 위의 노출 요인이 미치는 영향력을 알아 보고자 하였다. 또한 유의한 결과를 가진 노출 요인과 조혈기능, 간기능 및 신기능 지표와의 관계도 알아 보았다.

전국 평균과 비교시 생활 환경 및 인구학적 특성의 차이로 인한 제한점이 있으나 혈중 납의 기하평균 농도가 3.26 mg/dL로 2008년 전국 평균인 1.98 mg/dL [8]에 비해 1.64배 높았으며 혈중수은과 요중 카드뮴도 1.1배와 1.5배 높게 관찰되었으며 통계적으로 유의하였다 ($p < 0.01$). 그러나 전국 평균이전 국내 폐금속광산 지역 주민을 대상으로 한 연구와 비교해보면 혈중 납의 경우 2008년 경남 고성군 폐금속광산 지역주민 혈중 납농도 2.37 mg/dL [9]보다 높았다. 또한 2007년 경북 봉화군 폐금속광산 지역주민 혈중 납농도 3.17 mg/dL [10]보다 높았다. 요중 카드뮴의 경우 2008년 경남 고성군 폐금속광산 지역주민 요중 카드뮴 농도 1.93 mg/g Cr [9]과 2007년 경북 봉화군 폐금속광산 지역주민 요중 카드뮴농도 2.28 mg/g Cr [10]에 비해 낮은 1.11 mg/g Cr이었다. 요중비소의 경우 전국 자료의 분석 방법이 달라 비교가 불가능하였지만 같은 방법으로 분석된 2008년 경남 고성군 폐금속광산 지역주민 요중 비소 농도 4.80 mg/g Cr [10]에 비하여 2.3배 높은 10.99 mg/g Cr이었다.

또한 체내 중금속간의 관계를 알아보기 위하여 상관관계를 분석한 결과 중금속 간의 낮은 상관관계를 보이므로 다중 중금속 노출에 의한 동반상승 효과가 크지 않음으로 나타났다. 이는 장기내 축적되는 중금속을 분석해 볼 때 체내 중금속 간에서 유의한 상관관계를 갖는다는 연구결과 [11]와 다른 양상이었으며 연구대상자의 환경적, 개인적 차이가 그 이유로 사료된다. 각 체내 중금속별로 주 노출요인

에 따른 평균을 비교한 결과 거주기간이 길거나 오염원으로부터 거주거리가 가까워 질수록 모든 체내 중금속 농도가 유의하게 증가하였다. 지하수 음용집단에서 혈중 납 농도와 요중 카드뮴 농도, 그리고 쌀 자급자족집단에서 혈중 수은이 그렇지 않은 집단에 비해서 높았다. 본 연구 대상 광산 지역의 지하수에 대한 중금속 조사 [1]에서 검출된 중금속은 없었으며 따라서 지하수 오염으로 인한 관련성은 적은 것으로 나타났다. 또한 쌀의 경우 수은에 의한 오염도는 확인 되지 않았으나 다중회귀 분석 시에 쌀 자급자족으로 인한 영향은 유의하지 않았다. 실제로 거주기간은 연령과 높은 상관관계를 보였는데 체내 카드뮴 농도는 연령 및 흡연습관과 밀접한 관계를 갖는다는 연구 결과 [12]가 있었고, 체내 납농도와 연령은 밀접한 관계를 보인다고 보고 [13]된 바 있었다. 따라서 체내 중금속 농도에 영향을 줄 수 있는 성별, 연령, 흡연력, 음주력을 보정하였고 요중비소의 경우 24시간내 해산물 섭취여부를 추가로 보정하였다. 주 노출 요인과 체내 중금속 농도간의 다중회귀분석을 시행한 결과 오염원으로부터 거주지까지의 거리가 유의한 영향력을 갖았다. 또한 직업력의 영향을 배제 하기 위하여 광산 근무경험이 있는 대상자 18명을 제외하고 회귀분석한 결과에서도 같은 결과를 보였다.

건강영향정도를 파악하기 위하여 실시된 생체지표 분석 결과에서 거주거리에 따른집단별 차이를 보인 지표도 있었으나 모두 정상 범위에 속하였다. 각 생체지표별 정상범위를 벗어난 수치를 보인 대상자를 분석한 결과 헤모글로빈, 총 단백량, 총빌리루빈에서는 5명 이하가 정상에 가까운 수치를 보였다. 그리고 γ -GTP와 콜레스테롤에서 높은 수치를 보인 대상자는 평균연령이 60세 이상이며 흡연군에서 높았고, 2-5 km 거주자에서 평균값이 가장 높았다. NAG는 흡연군에서 높았으며 2 km 이하 거주자에서 가장 높은 평균을 보였다. 따라서 본 연구에서 중금속노출은 지역주민 생체 지표에 직접적인 영향을 주는 수준은 아닌 것으로 판단되었다. 그러나 간기능과 신기능 검사에서 대표적 지표인 혈중 요소 질소와 크레아티닌, 혈중 Alanine aminotransferase, 혈중 aspartate aminotransferase가 분석항목에서 제외되어 결과 분석에 한계를 갖고 있다. 국내 폐금속광산 연구결과에서도 노출군에서 생체지표와 관련하여 정상범위내의 결과 [9]를 보였으나 중금속의 만성 노출에 대한 유해성을 고려해볼때 앞으로 장기적인 추적 관찰을 통한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

호주의 폐광에서 가까운 호수일수록 구리, 아연등의 중금속 오염으로 높은 독성을 보인 연구결과 [14]와 아일랜드 은광 주변 토양의 카드뮴, 납, 아연의 농도가 광미장에서

떨어질수록 오염도가 급격히 감소했다는 연구결과 [15]가 있다. 연구대상이 된 A, B 광산도 금과 은이 주 채취대상이었고 2008년 환경부에서 실시한 A, B 광산 주변 토양의 중금속 오염도 조사에서 오염원으로부터 거리가 멀어질수록 토양의 중금속 농도가 낮아지는 결과를 보였다. 따라서 오염원으로부터 거리가 가까운 집단일수록 중금속 오염도가 높은 환경에 노출된다는 상관성을 생각해 볼 수 있다.

폐광산, 제련소 등과 인접하여 환경오염이 진행된 지역에서 주민들에 대한 체내 중금속 농도 및 건강영향을 평가하는 연구는 다양하게 진행되어 왔으며 이러한 연구들에서는 환경오염인자가 실제로 주민들의 건강에 영향을 미쳤는지를 규명하기 위하여 다양한 노출경로가 고려되었다 [16-19]. 중금속 노출에 있어 오염된 음용수의 섭취를 고려한 연구에서는 비소에 오염된 식수를 음용하는 집단의 태아와 영유아를 대상으로 1950년 이후의 사망률을 조사하였고 대조지역에 비하여 사망률이 현저하게 높았으나 비소 제거 장치를 설치한 이후 사망률이 감소한 것으로 보고하고 있다 [16]. 또다른 연구에서도 오염지역에서의 중금속 노출에 있어 음용수의 영향을 고려하였는데 제련소의 폐쇄에 따른 폐수의 방류와 제련 폐기물의 하천, 지하수 유입으로 오염된 지역과 오염도가 덜한 지역, 그리고 오염이 일어나지 않은 대조지역 주민들의 생체 카드뮴 분석 결과, 오염된 지역에서 요중 카드뮴과 혈중 카드뮴이 모두 유의하게 높은 결과를 보였다 [17]. 소화기를 통한 중금속의 노출에 대한 연구에서는 토양 비소 농도는 오염원으로부터 거리가 멀어짐에 따라 급감하였으며 대조지역에 비하여 노출지역에서의 쌀, 야채 중 비소 농도가 높아 섭취에 의한 중금속 노출을 보고하고 있다 [18]. 또한 중금속 노출경로로서 호흡기나 피부를 고려한 연구에서는 도로 인근 주거지와 폐납광산 지역, 대조지역에서 외부 대기, 실내 대기, 주민 혈액 그리고 가정 내 먼지 중 납 농도를 분석하였다 [19]. 이 결과 대기 중 농도는 도로 인근 주거지가 가장 높았으나 실내 대기와 가정 내 먼지 중 농도는 폐납광산이 가장 높았으며 혈중 납 농도 역시 폐납광산 지역이 가장 높았다 [19].

많은 연구 결과에서 볼수 있듯이 중금속은 각 지역별 환경적 지리적 요인에 따라 다양한 경로로 노출되고 있으며 중금속에 의한 일반 인구집단의 노출평가는 보다 종합적인 평가를 통한 고려가 필요하다. 생계의 수단으로서 주로 농업에 종사하는 폐금속광산 지역 주민들의 작업 특성상 다양한 경로를 통해 노출되고 있으며 오염된 농작물이 소화기를 통해 인체에 흡수되는 양 역시 고려될 수 있다 [20]. 일반 인구집단의 중금속 노출 평가에서 주로 대기오염에 의한 호흡기 노출, 오염된 지하수 혹은 수도의 음용 등에 대한 측

면이 고려된다면 폐금속광산 지역의 노출평가에 있어서는 오염된 토양과 물에 대한 피부접촉 및 중금속에 오염된 농작물의 섭취 등에 대한 측면이 강조된다. 폐금속광산에 대한 기존의 연구에서 폐금속광산에 의한 토양의 중금속 오염과 지역주민들의 체내 중금속 평가가 수행되어 심각한 오염과 건강영향 문제가 있을 것으로 제기되었다. 그러나 폐금속광산에 의한 건강영향의 상관성을 밝히고 결정적인 영향을 야기하는 요인을 찾기에는 부족한 실정이었으며 이는 지역 주민들의 생활 전반적인 측면에 대한 평가에 부족함이 있기 때문으로 볼 수 있다. 본 연구결과에서 오염원으로부터 거주거리가 노출요인으로 밝혀진 것처럼 폐금속 광산 관리 우선 순위 선정과 관리모형을 개발하는데 있어 반드시 고려되어야 할 중요한 노출 요인을 찾는 것이 요구된다.

감사의 글

이 연구는 환경부 환경보건정책과의 연구지원으로 이루어 졌음.

참고문헌

- Institute for Occupational and Environmental Health at Korea University. *Health assessment of residents in the vicinity of abandoned mines*. Seoul: Ministry of Environment; 2008, p. 1-21. (Korean)
- Chung JH, Kang PS, Kim CY, Lee KS, Hwang TY, Kim GT, 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. (Korean)
- Kosung-gun. *Health assessment of residents in the vicinity of abandoned mines in Kosung-gun*. Seoul: Ministry of Environment; 2004, p. 20-29. (Korean)
- Park JD, Park CB, Choi BS, Kang EY, Hong YP, Chang IW, et al. A study on urinary cadmium concentration and renal indices of inhabitant in an abandoned mine area. *Korean J Prev Med* 1998; 31(3): 424-439. (Korean)
- 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.
- 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.
- Murgueytio 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
- National Academy of Environmental Science. *Research of toxic substance in biomarkers of residents in Korea*. Seoul: Ministry of Environment; 2008. (Korean)
- Kim S, Kwon HJ, Cheong HK, Choi K, Jang JY, Jeong WC, et al. Investigation on health effects of an abandoned metal mine. *J Korean Med Sci* 2008; 23(3): 452-458.
- Sakong J. Health risks associated with contamination of environment by abandoned mines. *Yeungnam Univ J Med* 2007; 24(2): S212-S220. (Korean)
- Lee SK, Yoo YC, Chung KH. Interrelationship between the concentration of heavy metals in normal Korean tissues. *J Pharm Soc Korea* 1999; 43(5): 577-583. (Korean)
- Elinder CG, Lind B, Kjellström T, Linnman L, Friberg L. Cadmium in kidney cortex, liver, and pancreas from Swedish autopsies. Estimation of biological half time in kidney cortex, considering calorie intake and smoking habits. *Arch Environ Health* 1976; 31(6): 292-302.
- Schmidt R, Wilber CG. Mercury and lead content of human body tissues from a selected population. *Med Sci Law* 1978; 18(3): 155-158
- Dam R, Hogan A, Harford A, Markich S. Toxicity and metal speciation characterisation of waste water from an abandoned gold mine in tropical northren Australia. *Chemosphere* 2008; 73(3): 305-313.
- Aslibekian O, Moles R. Environmental risk assessment of metals contaminated soils at silvermines abandoned mine site, Co Tipperary, Ireland. *Environ Geochem Health* 2003; 25(2): 247-266.
- Hopenhayn-Rich C, Browning SR, Hertz-Picciotto I, Ferreccio C, Peralta C, Gibb H. Chronic arsenic exposure and risk of infant mortality in two areas of Chile. *Environ Health Perspect* 2000; 108(7): 667-673.
- Jin T, Nordberg M, Frech W, Dumont X, Bernard A, Ye TT, et al. Cadmium biomonitoring and renal dysfunction among a population environmentally exposed to cadmium from smelting in China(ChinaCad). *Biometals* 2002; 15(4): 397-410.
- Liao XY, Chen TB, Xie H, Liu YR. Soil As contamination and its risk assessment in areas near the industrial districts of Chenzhou City, Southern China. *Environ Int* 2005; 31(6): 791-798.
- Gallacher JE, Elwood PC, Phillips KM, Davies BE, Jones DT. Relation between pica and blood lead in areas of differing lead exposure. *Arch Dis Child* 1984; 59(1): 40-44.
- Lee JS, Chon HT. Risk assessment of arsenic by human exposure of contaminated soil, groundwater and rice grain. *Econ Environ Geol* 2005; 38(5): 535-545. (Korean)