

부산, 경남 일부 폐금속광산 지역주민들의 혈중 및 요중 카드뮴 농도

동아대학교 의과대학 예방의학교실, 국립환경과학원 환경역학과¹⁾,
고신대학교 의과대학 예방의학교실²⁾, 마산 삼성병원 산업의학과³⁾

김효준 · 김병권 · 김대선¹⁾ · 서정욱 · 유병철²⁾ · 김영욱³⁾ · 홍영습

— Abstract —

Blood and Urinary Cadmium Concentration of Residents around Abandoned Metal Mines in Busan and Gyeongsangnam-do

Hyo Jun Kim, Byoung Gwon Kim, Dae Seon Kim¹⁾, Jeong Wook Seo,
Byeng Chul Yu²⁾, Young Wook Kim³⁾, Young Seoub Hong

*Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Dong-A University,
Division of Environmental Epidemiology, National Institute of Environmental Research(NIER), Korea¹⁾,
Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Kosin University²⁾,
Department of Occupational Medicine, Masan Samsung Hospital³⁾*

Objectives: To evaluate the blood and urinary cadmium concentration levels of around abandoned metal mines in comparison with a control group.

Methods: Blood and urinary cadmium concentration levels were analyzed through investigations of the dietary habits and dietary water of subjects living near abandoned metal mines (exposure group) (n=190) in comparison with those living in designated control areas (control group) (n=256).

Results: The blood cadmium (1.93 $\mu\text{g}/\text{l}$) and urinary cadmium (2.41 $\mu\text{g}/\text{g cr}$) concentrations of the exposure group were significantly higher than those of the control group (blood cadmium: 1.19 $\mu\text{g}/\text{l}$, urinary cadmium: 1.94 $\mu\text{g}/\text{g cr}$). Both concentrations were significantly higher in vegetarians in both groups.

Conclusions: The exposure group had higher blood and urinary cadmium concentrations than the control group. We attributed the elevated blood and urine cadmium levels in the abandoned mine residents to the influence of the abandoned mine sites.

Key Words: Blood cadmium, Urinary cadmium, Abandoned metal mine

서 론

조선 후기부터 개발·운영 되었던 국내 금속광산은 1970년대 후반을 기점으로 산업구조변화, 경영악화 등의 이유로 폐광되기 시작하였고, 채굴, 채광 등의 활동 중단과 광산 시설의 폐쇄로 인해 발생하는 중금속 성분이 함

유된 폐석, 폐갱도, 광산폐기물 등이 적절한 조치 없이 방치되어 왔다¹⁾. 방치된 폐기물들은 물, 공기와의 산화반응활동 등의 자연환경 변화에 따라 산성폐수를 유발하였으며 이러한 폐수 속의 중금속은 주변의 하천, 농경지, 주거지 등의 주변 지역의 황폐화 및 환경오염을 초래할 뿐만 아니라, 토양이나 지하수에 축적되어 해당 지역에서

생산되는 농작물, 식수를 섭취하는 주민들의 건강에도 영향을 줄 수 있다^{2,3)}. 환경부는 1997년부터 전국 906개 폐금속광산에 대하여 본격적으로 토양오염 실태 정밀조사를 실시하여 2004년까지 158개소의 폐금속광산 지역에 대하여 조사를 마쳤으며 이 중 토양오염방지사업이 필요한 92개 광산 중 48개소는 방지사업을 완료하였으나 아직도 많은 폐광산에 대한 실태파악이 미흡한 실정이다⁴⁾. 이외에도 폐금속광산 지역 오염과 관련된 연구가 주변 지역 환경 노출평가를 중심으로 이루어지고 있으나 주변지역 주민들에 관한 건강영향조사는 지역 환경 노출 평가와 연계되지 못하고 지난 2004년 경남의 경우와 같이 주로 사건 위주로 진행되었다⁵⁾.

이러한 폐금속광산으로부터 노출될 수 있는 중금속 오염원 중에서 이전 경남 폐광산 주변 지역에서 특히 문제점이 제기된 카드뮴은 높은 독성을 나타내며 환경오염을 유발할 뿐만 아니라 인근 거주민의 체내 축적으로 건강장해를 초래할 수 있다. 일반적으로 카드뮴은 니켈-카드뮴 배터리, 안료제조, 전기도금, 플라스틱 안정제 등의 공업 제품에 이용되어 생활 전반에서 노출되고 토양, 물, 공기 등의 환경을 오염시켜 왔다⁶⁾. 이러한 오염된 물과 토양에서 재배한 음식물 섭취와 호흡기를 통해 카드뮴의 체내 축적이 가능하며⁷⁾, 특히 음식물 섭취가 인체에 있어 독성 작용의 주요 노출원이다. 급성 중독의 경우 발열, 오한, 구토 등의 소화기 증상을 초래하며 호흡기의 경우 기침, 두통, 호흡곤란 등을 일으키며 폐렴 등 폐의 손상까지도 유발할 수 있다⁸⁾. 또한 저농도로 장기간 노출될 경우 체내에 신장장해, 만성호흡기질환, 골격 및 심혈관 장애를 가져오기도 하는데 이는 카드뮴이 10~40년의 생물학적 반감기를 가지고 있어 초기 축적된 카드뮴이 간장에 침착되어 있다가 시간의 경과에 따라 혈액을 통해 신장조직으로 이동, 축적되어 독성을 초래하는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 그리고 카드뮴의 체내 축적 정도는 연령, 인종, 생활습관 등에 의한 영향을 많이 받으며 환경오염으로부터의 노출 강도와 기간 및 신장 기능 등에 의해 좌우 되는데 현재 우리나라에는 직업적으로 카드뮴에 노출되지 않는 일반 주민에 대하여 혈중 및 요중 카드뮴의 정상치가 명확히 제시되고 있지 않은 실정이다.

2008년부터 전국 100개 폐금속광산 주변지역에 대한 토양, 수질 오염실태 정밀조사⁹⁾가 실시되는 현 시점에서 폐금속광산 지역주민의 카드뮴 노출 농도를 평가할 필요성이 있다고 생각된다. 지역별로 노출되는 여러 중금속 중에서 특히 카드뮴의 경우 다양한 원인으로 지역 주민에게서 높은 농도로 나타날 가능성이 매우 높다. 이에 본 연구에서는 폐금속광산 주변 지역주민과 대조지역 주민들을 대상으로 폐금속광산 주변 지역과 대조지역이라는 노출 환경의 차이에 따른 혈중 및 요중 카드뮴 농도를 분석

하여 일차적으로 노출 수준을 평가하고 부가적으로 사회 인구학적 요인 및 다른 역학적 요인에 따른 농도 차이의 경향을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2002년 환경부 조사에서 토양오염 우려 또는 대책기준을 초과하였고, 2005년 폐금속광산 종합실태 조사에서 카드뮴, 비소, 납, 아연 및 구리 등이 토양오염 우려 또는 대책기준 초과상태로 판단되어 오염개연성이 높다는 판정을 받은 부산 지역, 경남 거창 및 진주지역에 위치한 3개 폐금속광산 주변 마을 지역을 대상으로 2007년에 수행하였다. 연구 대상자는 각 폐금속광산의 갱구 및 광미 기점 3 km 이내에 거주하는 주민들 중 참여에 동의한 주민 190명이었다.

대조지역은 폐금속광산의 영향을 받지 않고 폐금속광산 지역 마을과 연령구조와 규모가 비슷하고 직업조건 및 사회 환경이 비슷한 지역을 선정하여 그 지역에 거주하는 주민 중 참여에 동의한 256명을 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

1) 설문조사

대상자들에게 연구의 목적과 관련내용, 과정을 설명한 후 참여에 동의한 주민들을 대상으로 동의서를 얻었다. 설문 내용은 연령, 성별, 음주 여부, 흡연 여부, 선호 섭취 음식 종류(채식위주, 채식 및 육식, 육식 위주인 3단계로 분류하여 조사) 및 취직수 등에 대한 것이며, 설문지 작성은 일대일 면접 방식으로 수행하였다. 본 연구의 연구 내용 및 수행에 대한 학문적, 윤리적 측면에 대하여 국립환경과학원의 의학연구 윤리위원회(IRB)로부터 검토 및 승인을 받았다.

2) 시료채취 및 분석

(1) 혈중 카드뮴 및 요중 카드뮴 시료 채취

혈중 카드뮴 측정을 위해 전혈 3 ml를 sodium heparin tube (vacutainer cap)에 채취하여 응고되지 않도록 잘 섞은 후 냉장 보관 상태로 실험실로 운반하였으며, 분석 시까지 4℃ (2~8℃)로 냉장 보관하였다. 분석 전에 roller mixer로 거품이 생기지 않도록 다시 혼합한 후 분석하였다. 요중 카드뮴 측정을 위해 15 ml conical tube에 채취하여 냉장 보관 상태로 실험실로 운반하였으며 분

석 시까지 4℃(2~8℃)에 냉장 보관하였다. 이후 혈액과 마찬가지로 분석 전에 roller mixer에서 거품이 생기지 않도록 다시 혼합한 후 분석하였다.

요중 카드뮴의 경우 24시간 요 채취가 신장 내 카드뮴 노출량을 잘 반영하는 지표이나 채취의 어려움과 오염 가능성이 존재하여 일시 뇨를 채취하였다.

(2) 혈중 카드뮴 및 요중 카드뮴 분석

혈중 카드뮴 시료를 분석하기 위해 Triton X-100 2 ml 과 ammonium phosphate ((NH₄)₂HPO₄) 2 g을 첨가한 후 탈이온수로 1000 ml를 맞추어 0.2% Triton X-100 매질변형시약을 제조하였다. 카드뮴 1000 ppm 원액 0.1 ml를 탈이온수로 10 ml 희석하여 카드뮴 1000 µg/dl 표준용액을 제조한 뒤 단계별로 희석하여 표준용액을 만들었다. 시료전처리는 매질변형시약 0.9 ml와 카드뮴 표준액 0.05 ml, 혈액 0.05 ml를 섞어 사용하였다.

요중 카드뮴의 경우 혈액 분석용과 동일한 매질변형시약과 표준 용액을 이용하였다. 시료전처리는 매질변형시약 0.8 ml와 카드뮴 표준액 0.1 ml, 0.1% HNO₃ ml를 섞어 사용하였다. 카드뮴 표준 용액은 1,000 ppm 원자흡광분석용 용액(Sigma)을 이용하였다. 혈중 카드뮴 분석의 정확성을 위해 3단계 수준의 혈액 표준시료(Whole Blood Metal Control, Bio-Rad)를 이용하여 정도관리를 수행하였다.

Zeeman atomic absorption spectrometer-graphite furnace (VARIAN spectro AA 240Z) (이후 'AAS'로 기술)를 이용하여 비불꽃 방법으로 분석하였다. 분석조건은 측정파장 228.8 nm, lamp current 4.0 mA, width 0.5 nm에서 건조 온도 140℃로 65초간, 회화 온도 600℃로 45초간, 원자화 온도 2500℃로 3초간 3단계를 거쳐서 측정하였고, 요중 카드뮴의 경우 크

Table 1. General characteristics of study subject

Characteristics	Male		p-value	Female		p-value
	Exposure	Control		Exposure	Control	
	N=63(%)	N=80(%)		N=127(%)	N=176(%)	
Age(years)						
(mean ± std)	65.3 ± 13.6	63.7 ± 12.6		69.1 ± 12	65.5 ± 9.6	
≤ 54	7(11.1)	16(20.0)	0.0391	16(12.6)	27(15.3)	0.0005
55-59	15(23.8)	13(16.2)		7(5.5)	19(10.8)	
60-64	2(3.2)	12(15.0)		11(8.7)	25(14.2)	
65-69	9(14.3)	14(17.5)		16(12.6)	44(25.0)	
70-74	14(22.2)	8(10.0)		30(23.6)	28(15.9)	
≥ 75	16(25.4)	17(21.3)		47(37.0)	33(18.8)	
Period of residence(years)						
≤ 14	13(20.6)	19(23.8)	0.5369	15(11.8)	25(14.2)	0.1595
15-29	5(8.0)	3(3.7)		13(10.2)	21(11.9)	
30-44	6(9.5)	10(12.5)		18(14.2)	42(23.9)	
45-59	9(14.3)	17(21.2)		43(33.9)	45(25.6)	
≥ 60	30(47.6)	31(38.8)		38(29.9)	43(24.4)	
Alcohol drinking						
Yes	24(38.1)	35(43.7)	0.4953	87(68.5)	118(67.0)	0.7889
No	39(61.9)	45(56.3)		40(31.5)	58(33.0)	
Smoking						
Current-smoker	24(38.1)	37(46.2)	0.5721	7(5.5)	17(9.6)	0.0373
Non-smoker	12(19.0)	15(18.8)		93(73.2)	139(79.0)	
Ex-smoker	27(42.9)	28(35.0)		27(21.3)	20(11.4)	
Food consumption type						
Vegetable	42(66.7)	54(67.5)	0.9161	98(77.2)	151(85.8)	0.0528
Meat & vegetable	21(33.3)	26(32.5)		29(22.8)	25(14.2)	
Water consumption type						
Tap water	29(46.0)	34(42.5)	0.8114	50(39.4)	91(51.7)	0.0600
Ground water	25(39.7)	36(45.0)		54(42.5)	53(30.1)	
Other	9(14.3)	10(12.5)		23(18.1)	32(18.2)	

레이티닌 농도를 보정한 후 $\mu\text{g/g cr}$ 으로 나타내었다.

3. 통계 분석

본 연구는 SAS 9.1 통계프로그램을 사용하였으며 본 연구에서 분석된 혈중 및 요중 카드뮴 농도가 대수정규분포 형태를 보여 대수변환 후 기하평균을 사용하였으며 주

섭취 음식에 대한 분석에서 육식 위주의 설문 대담자가 거의 없어 채식, 채식 및 육식 모두를 선호하는 두 집단으로 구분하여 분석하였다. 대상자의 일반적 특성을 파악하기 위해서 성별에 따른 두 지역 간 요인들의 교차분석(cross tabulation analysis)을 실시하였다. 혈중 및 요중 카드뮴 농도에 대하여 성별, 거주기간, 음주력, 흡연력, 주 섭취 음식, 식수 종류를 요인으로 한 일원배치 분

Table 2. Geometric mean concentration of blood cadmium ($\mu\text{g/L}$) between exposure and control group

Characteristics	Exposure (n=190)	Control (n=256)	p-value*
	GM (CL 95%)	GM (CL 95%)	
Total	1.93(1.78-2.1)	1.19(1.11-1.28)	<0.0001
Gender			
Male	1.62(1.39-1.89)	1.01(0.89-1.15)	<0.0001
Female	2.11(1.91-2.33)	1.28(1.17-1.4)	<0.0001
p-value [†]	0.0039	0.0027	
Age (years)			
≤54	1.51(1.04-2.2)	0.98(0.8 -1.2)	0.0275
55-59	1.65(1.26-2.17)	1.15(0.94-1.39)	0.0242
60-64	2.34(1.72-3.2)	1.36(1.14-1.62)	0.0021
65-69	1.77(1.41-2.21)	1.27(1.1-1.46)	0.0127
70-74	2.13(1.86-2.44)	1.24(1.02-1.5)	<0.0001
≥75	2.08(1.81-2.39)	1.18(0.98-1.41)	<0.0001
p-value	0.0847	0.1911	
Peride of residence (years)			
≤14	1.2(0.91-1.59)	1.01(0.87-1.17)	0.2654
15-29	1.77(1.19-2.62)	1.2 (0.95-1.53)	0.0729
30-44	2.34(1.97-2.79)	1.29(1.06-1.58)	<0.0001
45-59	2.02(1.76-2.31)	1.22(1.06-1.41)	<0.0001
≥60	2.18(1.93-2.46)	1.2 (1.05-1.38)	<0.0001
p-value	<0.0001	0.3271	
Alcohol drinking			
Yes	2.01(1.82-2.22)	1.22(1.11-1.33)	<0.0001
No	1.83(1.58-2.13)	1.15(1.01-1.3)	<0.0001
p-value	0.3022	0.4536	
Smoking			
Current-smoker	2.07(1.63-2.64)	1.4 (1.18-1.65)	0.0063
Non-smoker	2.05(1.86-2.26)	1.17(1.06-1.28)	<0.0001
Ex-smoker	1.65(1.38-1.99)	1.06(0.91-1.23)	0.0002
p-value	0.0699	0.0483	
Food consumption type			
Vegetable	2.01(1.82-2.22)	1.26(1.17-1.36)	<0.0001
Meat & vegetable	1.74(1.49-2.03)	0.93(0.78-1.12)	<0.0001
p-value	0.1384	0.001	
Water consumption type			
Tap water	2.17(1.9 -2.48)	1.38(1.29-1.49)	<0.0001
Ground water	1.72(1.5 -1.96)	0.89(0.77-1.03)	<0.0001
Other	1.94(1.62-2.34)	1.4 (1.17-1.69)	0.0151
p-value	0.0421	<0.0001	

GM: Geometric Mean, CL:Confidence Limits, *: p-value for independent t-test, †: p-value for one way ANOVA.

산분석(one way ANOVA)을 실시하였으며 동시에 각 요인의 수준에 따라 노출군과 대조군 간의 독립표본 t-test를 실시하였다. 혈중 및 요중 카드뮴 농도 각각을 종속변수로 하여 고려된 각 변수들 간의 관련성과 영향 정도를 파악하고자 다중회귀분석(multiple-regression analysis)을 실시하였다. 각 검정에서 유의수준은 5%에서 이루어졌다.

결 과

1. 대상자의 일반적 특성

노출군은 190명으로 남성 63명, 여성 127명이며, 대조군은 256명으로 남성 80명, 여성 176명으로 전체 조사대상자들 중 남성은 143명(32.0%), 여성은 303명

Table 3. Geometric mean concentration of urinary cadmium ($\mu\text{g/g cr}$) between exposure and control group

Characteristics	Exposure (n=190)	Control (n=256)	p-value*
	GM(CL 95%)	GM(CL 95%)	
Total	2.41(2.17-2.67)	1.94(1.8-2.1)	0.0013
Gender			
Male	2.18(1.82-2.61)	1.92(1.7-2.16)	0.2436
Female	2.53(2.22-2.88)	1.95(1.77-2.15)	0.0016
p-value [†]	0.1911	0.8362	
Age (years)			
≤54	1.32(0.9 -1.92)	1.82(1.54-2.16)	0.1164
55-59	2.24(1.69-2.99)	2.08(1.61-2.7)	0.6976
60-64	2.86(1.82-4.49)	1.62(1.27-2.06)	0.0192
65-69	2.56(1.86-3.52)	1.93(1.67-2.23)	0.1047
70-74	2.64(2.15-3.25)	1.88(1.51-2.34)	0.0242
≥75	2.71(2.31-3.18)	2.33(1.98-2.74)	0.1876
p-value	0.0014	0.1338	
Peride of residence (years)			
≤14	1.67(1.25-2.23)	1.75(1.5 -2.05)	0.7515
15-29	2.09(1.27-3.44)	2.15(1.71-2.7)	0.9173
30-44	2.52(1.88-3.4)	1.97(1.6 -2.42)	0.1690
45-59	2.59(2.13-3.15)	1.82(1.54-2.16)	0.0078
≥60	2.7 (2.32-3.15)	2.09(1.83-2.38)	0.0120
p-value	0.0381	0.4871	
Alcohol drinking			
Yes	2.42(2.12-2.75)	2(1.79-2.22)	0.0250
No	2.39(2-2.85)	1.86(1.68-2.07)	0.0181
p-value	0.9142	0.3835	
Smoking			
Current-smoker	2.32(1.6-3.36)	2(1.71-2.33)	0.4597
Non-smoker	2.56(2.24-2.93)	1.91(1.72-2.12)	0.0007
Ex-smoker	2.18(1.85-2.58)	1.98(1.66-2.35)	0.4015
p-value	0.4209	0.8832	
Food consumption type			
Vegetable	2.47(2.18-2.8)	1.95(1.79-2.13)	0.0023
Meat & vegetable	2.23(1.84-2.7)	1.92(1.62-2.27)	0.2388
p-value	0.3907	0.8587	
Water consumption type			
Tap water	2.29(1.9 -2.77)	1.81(1.61-2.03)	0.0323
Ground water	2.56(2.23-2.94)	1.99(1.77-2.24)	0.0058
Other	2.32(1.78-3.03)	2.3 (1.9 -2.79)	0.9615
p-value	0.6113	0.0821	

GM:Geometric Mean, CL:Confidence Limits, *p-value for independent t-test, †p-value for one way ANOVA.

(68.0%)으로 여성이 더 많은 것으로 나타났다. 평균 연령은 남녀 모두 노출군인 광산지역이 높은 것으로 나타났으며(p<0.05), 여성에서 현재 흡연군이 높은 것으로 나타난 것을 제외하고는 다른 요인에서 두 집단간에 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 1).

2. 폐광영향 노출 유무에 따른 요인별 혈중 카드뮴 농도 평균비교

노출군과 대조군의 혈중 카드뮴 평균 농도 차이는 0.74 $\mu\text{g/l}$ 로서 노출군에서 유의하게 높았다(p<0.0001). 성별에 따른 혈중 카드뮴의 농도는 남성의 경우 노출군에서 1.62 $\mu\text{g/l}$, 대조군에서는 1.01 $\mu\text{g/l}$ 으로, 여성에서도 노출이군 2.11 $\mu\text{g/l}$, 대조군 1.28 $\mu\text{g/l}$ 으로 유의한 차이를 보였으며(p<0.0001) 남녀 간에서도 여성이 남성에 비해 유의하게 높게 나타났다. 그 외 각각의 요인별 수준에서 거주기간 30년 이하의 요인을 제외하고 노출군과 대조군의 평균치는 노출군이 유의하게 높았다(p<0.05). 노출군에서는 성별, 거주기간에서 대조군에서는 성별, 흡연 여부, 선호 음식 종류, 식수종류에서 혈중 카드뮴 농도의 분산분석 결과 요인 수준별로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 2).

3. 폐광영향 노출 유무에 따른 요인별 요중 카드뮴 농도 평균비교

노출군과 대조군의 요중 카드뮴 평균 농도 차이는

0.47 $\mu\text{g/g cr}$ 로서 노출군에서 유의하게 높았다(p=0.0013). 요중 카드뮴의 평균 농도는 남성에서는 노출군과 대조군 사이에 유의한 차이가 없었으나, 여성의 경우 노출이군 2.53 $\mu\text{g/g cr}$, 대조군 1.95 $\mu\text{g/g cr}$ 으로 노출군이 유의하게 높았다(p=0.0016). 그리고 혈중 카드뮴과 달리 남녀 간의 농도는 유의한 차이를 보이지 않았다. 그 외 각각의 요인별 수준에 따른 노출군과 대조군의 평균 차이를 보면, 음주 여부의 전체 수준에서만 통계적으로 유의한 차이를 보였고 나머지 요인은 일부 수준에서만 유의한 차이를 보였다. 각 요인 별 전체 요중 카드뮴 농도의 분산분석 결과는 노출군에서의 연령을 제외한 모든 요인에서 유의한 차이가 없었다(Table 3).

4. 폐광영향 노출 유무에 따른 보정된 혈중 카드뮴 농도

단변량분석을 통해 완전모형에서 각 요인별 F-통계량의 값이 1보다 큰 요인들을 선정하여 다중회귀분석에 사용할 변수를 선정하였다. 성별, 거주기간, 흡연력, 식수 종류를 보정하였을 때 대조군에 비하여 노출군의 혈중 카드뮴 농도는 1.64배 높았다(p<0.0001). 세부 요인으로 남성은 여성의 비해 혈중 카드뮴 농도가 0.72배 낮았으며(p<0.0001), 흡연력에서는 비흡연자에 비해 현재 흡연을 하고 있는 경우 1.4배 높았다(p<0.0001). 식수 종류에 있어서 상수도에 비해 지하수는 차이가 거의 없었으며, 상수도 및 지하수 외 다른 식수를 섭취하는 경우 상수도에 비해 혈중 카드뮴 농도가 0.72배 낮았다

Table 4. Adjusted multiple-regression of blood cadmium concentration ($\mu\text{g/L}$)

Dependent Variable	Coefficient	Standard error	t	p-value
Constant	0.73	1.17	-2.01	0.0453
Group				
Exposure	1.64	1.05	9.46	<0.0001
Control	1.00			
Gender				
Male	0.72	1.07	-5.03	<0.0001
Female	1.00			
Smoking				
Current-smoker	1.40	1.08	4.31	<0.0001
Ex-smoker	1.07	1.07	1.02	0.307
Non-smoker	1.00			
Water consumption type				
Others	0.72	1.06	-5.64	<0.0001
Ground water	0.99	1.08	-0.2	0.8427
Tap water	1.00			
Age	1.01	1.00	4.27	<0.0001

($p < 0.0001$). 연령이 1세 증가함에 따라 혈중 카드뮴 농도는 1.01배 증가하는 것으로 나타났다($p < 0.0001$) (Table 4).

5. 폐광영향 노출 유무에 따른 보정된 요중 카드뮴 농도

혈중 카드뮴과 마찬가지로 방법으로 변수를 선정하여 분석한 결과 성별, 식수 종류, 거주기간을 보정하였을 때 노출군의 요중 카드뮴 농도는 대조군에 비하여 1.18배 높았다($p = 0.0092$). 세부 요인으로 성별은 여성에 비하여 남성이 0.96배 낮게 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다($p = 0.5815$). 식수 종류에 있어서 상수도에 비해 지하수를 섭취하는 경우 1.21배로 유의하게 높게 나타났으며($p = 0.0325$), 다른 식수를 섭취하는 경우는 1.13배로 높았으나 통계적으로 유의하지 않았다. 연령이 1세 증가함에 따라 요중 카드뮴 농도는 1.01배 증가하는 것으로 나타났다($p < 0.0001$) (Table 5).

고 찰

본 연구에서는 폐금속광산 지역주민과 대조지역 주민간의 혈중 및 요중 카드뮴 농도를 측정하고 사회 인구학 및 역학적 요인들을 보정하였을 때 두 지역간의 카드뮴 농도 차이를 알아보고자 하였다. 그 결과 통계 모형에서 요인을 보정하였을 때 폐금속광산 지역의 혈중 카드뮴 농도는 대조지역 주민들의 농도에 비하여 1.64배 높았으며 ($p < 0.0001$), 요중 카드뮴 농도는 폐금속광산 지역이 1.18배 높았다($p = 0.0092$). 이를 수치로 살펴보면 폐금속광산 지역주민들의 혈중 카드뮴의 기하평균 농도가 $1.93 \mu\text{g/l}$ (산술평균 $2.24 \pm 1.12 \mu\text{g/l}$), 대조지역 주민들의

기하평균 농도는 $1.19 \mu\text{g/l}$ (산술평균 $1.39 \pm 0.80 \mu\text{g/l}$)로 나타났으며 폐금속광산 지역과 대조지역 간의 농도는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.0001$).

이는 2004년 경남 고성군의 폐금속광산 지역의 혈중 카드뮴 산술평균 농도 $3.3 \mu\text{g/l}$, 대조지역 산술평균 농도 $2.2 \mu\text{g/l}$ 보다 낮은 농도였으며⁵⁾, 2008년 부산, 경남 폐금속광산 주민건강영향조사에서의 폐금속광산 지역의 혈중 카드뮴 산술평균 농도 $1.39 \mu\text{g/l}$ 보다는 높은 것으로 나타났다¹⁰⁾. 한편 카드뮴에 노출되지 않는 일반인 403명 대상으로 한 다른 국내 조사에서 남성 혈중 카드뮴 기하평균 농도가 $1.6 \mu\text{g/l}$, 여성 $1.4 \mu\text{g/l}$ ¹¹⁾로 본 연구의 남성 대조군의 혈중 카드뮴 기하평균 농도 $1.01 \mu\text{g/l}$, 여성 $1.28 \mu\text{g/l}$ 보다 높은 결과치를 보였다. 일반인을 대상으로 한 아시아 국가들의 평균 혈중 카드뮴 농도에 관한 Ikeda 등의 연구에서 일본 $1.82 \mu\text{g/l}$, 한국 $1.37 \mu\text{g/l}$, 중국 $0.61 \mu\text{g/l}$, 대만 $0.83 \mu\text{g/l}$, 말레이시아 $0.74 \mu\text{g/l}$ 로 지역 간 차이를 보였고¹²⁾, 환경부의 국가 비교에 따르면 미국 $0.47 \mu\text{g/l}$ ¹³⁾, 독일 $0.44 \mu\text{g/l}$ ¹⁴⁾로 아시아 국가에 비해 매우 낮은 것으로 나타났다. 그리고 우리나라에서는 일반인구집단의 혈중 카드뮴 권고기준치는 없는 상태로 참고기준치로 세계보건기구(World Health Organization)의 혈중 카드뮴 권고기준 $5 \mu\text{g/l}$ 에 대하여 평균 농도가 초과하는 지역은 없었다. 이러한 아시아계 일반인구집단에서 카드뮴 농도가 높게 나타나는 주요 원인은 다양하나, 우리나라와 일본을 비롯한 아시아 국가의 국민들의 카드뮴 농도 상승의 주요인은 쌀의 섭취를 주식으로 하는 식생활과 관련이 있다는 연구^{7,15)}와 일본 지역에서 생산되는 쌀의 카드뮴 함유량이 다른 나라에 비해 높게 나타나는 경향을 보인 연구결과¹⁶⁾등으로 일부 설명할 수 있다. 카드뮴 노출의 많은 부분이 음식을 통해 이루어지는 것으로 알려져 있는 만큼 향후 연구를 통해 폐광

Table 5. Adjusted multiple-regression of urinary cadmium concentration ($\mu\text{g/g cr}$)

Dependent Variable	Coefficient	Standard error	t	p-value
Constant	0.75	1.21	-1.54	0.1250
Group				
Exposure	1.18	1.07	2.61	0.0092
Control	1.00			
Gender				
Male	0.96	1.07	-0.55	0.5815
Female	1.00			
Water consumption type				
Others	1.13	1.07	1.81	0.0707
Ground water	1.21	1.09	2.14	0.0325
Tap water	1.00			
Age	1.01	1.00	5.06	<0.0001

지역 주민의 음식물 카드뮴 함량과 주민 개개인의 섭취에 따른 분석과 관찰이 보완되어야 할 것으로 생각된다.

요중 카드뮴의 경우 폐금속광산 지역주민들의 기하평균 농도는 2.41 $\mu\text{g/g cr}$ (산술평균 $3.06 \pm 2.19 \mu\text{g/g cr}$), 대조지역 주민들의 기하평균 농도는 1.94 $\mu\text{g/g cr}$ (산술평균 $2.35 \pm 1.53 \mu\text{g/g cr}$)으로 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p=0.0013$). 이는 혈중 카드뮴의 경우와는 다르게 2004년 경남 고성군의 폐금속광산 지역 산술평균 농도 2.1 $\mu\text{g/g cr}$, 대조지역 산술평균 농도 1.5 $\mu\text{g/g cr}$ 보다 높은 농도를 보였으며⁵⁾, 2008년 부산, 경남 폐금속광산 주민건강영향조사에서의 폐금속광산 지역의 요중 카드뮴 기하평균 농도 1.67 $\mu\text{g/g cr}$ 보다 높은 것으로 나타났다¹⁰⁾. 혈중 카드뮴과 마찬가지로 다른 국내 조사의 남성 요중 카드뮴의 기하평균 농도가 1.19 $\mu\text{g/g cr}$, 여성 1.87 $\mu\text{g/g cr}$ 인데 비해 본 연구의 대조군은 다소 높은 결과치를 보였다¹¹⁾. 본 연구에서는 대상자의 연령이나 폐금속광산 주변지역이라는 환경적, 지리적 유사성을 가진 이전 연구들에 비해 요중 카드뮴 농도가 높은 것으로 나타났다. 이러한 농도 차이는 폐금속광산 지역이라는 동일한 용어를 사용하는 지역이라 하더라도 실제 폐금속광산의 카드뮴 양, 지리적 위치, 주변 환경 등의 차이에 따른 오염원의 상태나 오염 경로의 다양성, 섭취 음식물의 경로, 양 등의 차이, 노출 주민의 생물학적 차이 등의 다양한 요인의 변이로 인해 지역 주민들에게 노출되는 카드뮴의 양이 다름으로 인한 결과로 생각할 수 있을 것이다.

혈중 및 요중 카드뮴 농도가 모두 남성보다 여성에게서 높게 나타났는데 이는 1992년 카드뮴에 노출되지 않은 일반인들의 요중 카드뮴 조사에서 남성의 기하평균 농도가 1.19 $\mu\text{g/g cr}$, 여성의 기하평균 농도가 1.87 $\mu\text{g/g cr}$ 으로 여성의 요중 카드뮴 농도가 높은 것¹¹⁾과 2001년 청소년 193명을 대상으로 한 혈중카드뮴의 농도 조사에서 남성의 평균 농도가 0.57 $\mu\text{g/l}$, 여성의 평균 농도가 0.69 $\mu\text{g/l}$ 로 여성의 농도가 더 높게 나타난 연구¹⁷⁾처럼 기존 연구와 유사한 경향을 보였다. 남성보다 여성의 혈중 및 요중 카드뮴의 농도가 높은 것은 인체 내의 철 수준과 일부 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 철이 결핍될 경우 카드뮴의 흡수가 증가되며 동물실험에서 소장 내에서 철 흡수의 기전으로 금속이동단백질(metal transporter protein)을 통한 철의 흡수, 이동과 동시에 카드뮴의 흡수 또한 증가되는 것이 보고된 적¹⁸⁾도 있으며 철 결핍의 소견을 가진 사람에게서 혈중 카드뮴의 농도가 증가되었다는 연구 보고¹⁹⁾도 이러한 점을 뒷받침해 준다.

흡연을 하면 담배 필터 안의 여러 중금속이 연소과정을 통해 공기 중으로 산화되는 양을 제외한 나머지 부분이 인체 내 축적되며 이러한 흡연은 체내 카드뮴 양을 증가

시키며 비직업적 카드뮴 노출의 한 원인이 될 가능성이 있다고 알려져 있다²⁰⁻²²⁾. 본 연구에서도 흡연을 하는 노출 지역 주민들의 혈중 카드뮴 기하평균 농도 2.07 $\mu\text{g/l}$, 대조지역 주민들의 기하평균 농도 1.40 $\mu\text{g/l}$ 로 두 지역 간의 농도치는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p=0.0063$). 하지만 흡연을 하는 노출지역 주민들의 요중 카드뮴 기하평균 농도(2.32 $\mu\text{g/g cr}$)는 대조지역 주민들의 기하평균 농도(2.00 $\mu\text{g/g cr}$)보다 높았으나 유의한 차이는 보이지 않았다($p=0.4597$). 그리고 흡연자의 농도가 비흡연자에 비해 높은 결과 치를 보였는데 이는 이전의 많은 연구결과들과 비슷하였다^{11, 23-25)}. 즉 흡연이 직업적 노출을 제외한 일반인들의 주요 카드뮴 노출 원인이 될 수 있음을 보여준다.

본 연구에서 조사 대상자들의 선호 음식 종류에 따라 카드뮴의 농도 차이가 나타났는데 주로 채식을 한다고 응답한 집단에서 혈중 및 요중 농도가 높은 것으로 나타났다. 이는 체내 카드뮴 농도 변화가 식생활과도 연관이 있다는 것에 대해 채식을 주로 하는 사람의 혈중 카드뮴 농도가 그렇지 않는 사람들보다 높게 나타난다는 이전 연구 결과²⁶⁾와 유사하게 나타났다. 이처럼 연구 대상지역이 농촌지역에 해당하고 대상자 대부분이 채식을 주로 하는 식생활로 인한 카드뮴 섭취와 관련이 있을 것으로 생각되며, 본 연구에서 세부적인 섭취 빈도 및 섭취량에 대한 조사가 이루어지지 않아 가능성만이 제시되었다. 주 섭취 식수에 따른 요중 카드뮴 농도의 경우 폐금속광산 지역의 경우 지하수를 섭취하는 주민들의 농도가 가장 높게 나타났으나 대조지역의 경우 상수도와 지하수를 섭취하는 주민들의 농도가 다른 식수를 섭취하는 주민들의 농도보다 낮은 것으로 나타났는데 이는 조사 수행 중 상수도, 간이수도, 상수시설이 없는 경우 이용하는 자가 수도 및 수도시설 전반에 관한 명확한 구분의 어려움과 그로 인해 발생할 수 있는 분류 오류의 가능성이 있을 것으로 추정된다.

지난 2005년 환경부에서 전국 성인 2000명을 대상으로 실시된 국민 혈중 중금속 농도 조사 결과 혈중 카드뮴의 평균 농도가 1.52 $\mu\text{g/l}$ 으로 이번 연구와 비교했을 때 폐금속광산 지역의 혈중 카드뮴 평균 농도가 1.93 $\mu\text{g/l}$, 대조지역의 평균 농도가 1.19 $\mu\text{g/l}$ 으로 환경부 조사와 차이를 보였고²⁷⁾, 2007년과 2008년에 걸쳐 조사되었던 2차 국민 생체시료 중 유해물질 실태조사에서는 요중 카드뮴 평균 농도가 0.38 $\mu\text{g/g cr}$ 으로 이번 연구와는 큰 차이를 보였는데²⁸⁾ 이는 환경부 조사 지역은 대기, 토양, 해안 및 일반도시별로 조사된 반면 본 연구에서는 폐금속광산이라는 지역적 특성에 기반 하여 환경 및 직업적 노출 요인과 식습관 등의 사회 인구학 및 역학적 요인에 대한 차이로 인한 것이라 생각된다.

본 연구의 결과로 폐금속광산 지역주민들이 대조지역

주민들에 비해 혈중 및 요중 카드뮴의 농도가 유의하게 높게 나타났으며, 이는 노출되는 카드뮴의 양이 많다는 것을 시사한다. 그러나 본 연구가 일부 지역의 자원자 집단에 한정된 조사라는 제한점이 있다.

요 약

목적: 본 연구에서는 카드뮴에 노출될 수 있는 폐금속광산 지역 주민과 대조지역 주민을 대상으로 체내 혈중 및 요중 카드뮴 농도를 조사하여 식습관, 환경적 차이에 따른 노출 정도를 알아보고자 하였다.

방법: 부산, 경남지역에 위치한 3개 폐금속광산 주변 마을 지역에서 폐금속광산 영향권 내의 지역 주민 190명(남 63명, 여 127명)을 노출군으로, 폐금속광산의 영향을 받지 않고 노출군과 유사한 조건을 가진 지역 내의 주민 256명(남 80명, 여 176명)을 대조군으로 선정하였다. 인구학적 특성과 생활습관 전반에 대한 설문조사를 실시하였으며 혈액과 일시뇨를 채취하여 카드뮴 노출 수준을 분석하였다. 혈중 및 요중 카드뮴 농도에 대해 대수변환하여 정규성을 확보한 뒤 노출군과 대조군 간 독립표본 t-test를 실시하였으며 요인별 일원배치 분산분석을 실시하여 평균을 비교하였다. 사전분석에서 혈중 및 카드뮴 농도에 유의한 영향을 주는 것으로 판단된 요인을 보정한 다중회귀분석을 실시하였다.

결과: 대상자의 일반적 특성에서 평균 연령이 노출군인 광산지역 주민이 다소 높은 것으로 조사되었으나, 나머지 다른 요인의 유무는 두 집단에 있어서 차이가 없는 것으로 나타났다. 혈중 카드뮴 평균 농도는 노출군이 유의하게 높았으며, 요중 카드뮴의 평균 농도 역시 노출군이 유의하게 높았다. 최종 통계적 모형에서 혈중 카드뮴 농도에 영향을 미칠 것이라 판단되는 요인인 성별, 거주기간, 흡연력, 식수 종류를 보정하였을 때 폐금속광산 지역의 혈중 카드뮴 농도는 대조지역 주민들의 농도에 비하여 1.64배 높았으며, 동일하게 성별, 식수 종류, 거주기간을 보정하였을 때 요중 카드뮴 농도는 폐금속광산 지역이 1.18배 높았다.

결론: 폐금속광산 지역주민들이 대조지역 주민들의 혈중 및 요중 카드뮴의 농도보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 식습관, 주거 등의 생활양상이 비슷한 지역의 여러 연구 결과와 마찬가지로 폐금속광산 지역의 혈중 및 요중 카드뮴 농도가 높게 나타난 것은 그만큼 노출되는 양이 대조지역에 비해 많다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1) Jung GB, Kim WI, Park KL, Ynu SG. Vertical distribu-

tion of heavy metals in paddy soil near abandoned metal mines. *Kor J Environ Agric* 2001;20(4):297-302. (Korean)

2) Chung JH, Kang PS, Kim CY, Lee KS, Hwang TY, Kim GT, Park JS, Park SY, Kim DS, Lim OT, Sakong J. 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):225-37. (Korean)

3) Lee JW. Study on the management abandoned metal mines after restoration. Kwangwoon University. Seoul. 2007. (Korean)

4) The Ministry of Environment, Republic of Korea. Master plan of soil management around the abandoned metal mines (translated by Kim BG). The Ministry of Environment, Republic of Korea. Seoul. 2004. (Korean)

5) Kim S, Kwon HJ, Cheong HK, Choi K, Jang JY, Jeong WC, Kim DS, Yu S, Kim YW, Lee KY, Yang SO, Jhung IJ, Yang WH, Hong YC. Investigation on Health Effects of an Abandoned Metal Mine. *J Korean Med Sci* 2008;23(3):452-58.

6) Page AL, Chang AC. Cadmium. Springer-Verlag. Berlin. 1986. pp.33-75.

7) Zhang ZW, Moon CS, Watanabe T, Shimbo S, He FS, Wu YQ, Zhou SF, Su DM, Qu JB, Ikeda M. Background exposure of urban populations to lead and cadmium: comparison between China and Japan. *Int Arch Occup Environ Health* 1997;69:273-81.

8) Kazantzis G, Flynn FV, Spowage JS, Trott DG. Renal tubular malfunction and pulmonary emphysema in cadmium pigment workers. *Quart J Med* 1963;32:165-92.

9) The Ministry of Environment, Republic of Korea. Intensive research on the actual condition about soil and water pollution around the abandoned metal mines in 2008 (translated by Kim BG). The Ministry of Environment, Republic of Korea. Seoul. 2008. (Korean)

10) The Ministry of Environment, Republic of Korea. Health effect survey of residents around abandoned metal mines in Gyeongsangnam-do(translated by Kim BG). The Ministry of Environment, Republic of Korea. Seoul. 2004. (Korean)

11) Yeon YY, Ahn KD, Lee BK. Blood and urine cadmium levels in non-exposed Korean to cadmium. *Korean J Occup Environ Med* 1992;4(1):53-8. (Korean)

12) Ikeda M, Zhang ZW, Shimbo S, Watanabe T, Nakatsuka H, Moon CS, Matsuda-Inoguchi N, Higashikawa K. Urban population exposure to lead and cadmium in east and south-east Asia. *Sci Total Environ* 2000;249:373-84.

13) U.S. Environmental Protection Agency. National human exposure assessment survey, 1999-2000. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 2000.

14) Becker K, Kaus S, Krause C, Lepom P, Schulz C, Seiwert M, Seifert B. German environmental survey

- 1998 (GerES III): environmental pollutants in blood of the German population. *Int J Hyg Environ Health* 2002;205(4):297-308.
- 15) Oh EH, Lee EI, Lim HS, Jang JY. Human multi-route exposure assessment of lead and cadmium for Korean volunteers. *J Prev Med Public Health* 2006;39(1):53-8. (Korean)
 - 16) Moon CS, Zhang ZW, Shimbo S, Watanabe T, Moon DH, Lee CU, Lee BK, Ahn KD, Lee SH, Ikeda M. Dietary intake of cadmium and lead among the general population in Korea. *Environ Res* 1995;71:46-54.
 - 17) Chang SS, Kyun YH, Bae JS, Roh YM, Jan JG. Blood cadmium concentration according to exposure of smoking in adolescence. *J Korean Soc School Health* 2001;14(2):207-13. (Korean)
 - 18) Ryu DY, LeeSJ, Park DW, Choi BS, Klaassen CD, Park JD. Dietary iron regulates intestinal cadmium absorption through iron transporters in rat. *Toxicol Lett* 2004;152:19-25.
 - 19) Flanagan PR, McLellan JS, Haist J, Cherian G, Chamberlain MJ, Valberg LS. Increased dietary cadmium absorption in mice and human subjects with iron deficiency. *Gastroenterology* 1978;74(5 Pt 1):841-6.
 - 20) Hwang HJ, Moon DH, Park MH, Kim JH, Hwang YS, Lee YH. A study on concentration of five heavy metals in tobacco on the market. *Inje Med J* 1998;19(2):713-21. (Korean)
 - 21) Sugita M, Izuno T, Tatemichi T, Otahara Y. Cadmium absorption from smoking cigarettes: calculation using recent findings from Japan. *Environ Health Prev Med* 2001;6(3):154-9.
 - 22) Shin JY, Lim JH, Park SG, Lee JN, Jang M, Huh CS. Influence of smoking on blood cadmium concentration in university students. *J Prev Med Public Health* 2004;37(3):225-231. (Korean)
 - 23) Park JD, Park CH, Choi BS, Kang EY, Hong YP, Chang IW, Chun BY, Yeh MH. Study on urinary cadmium concentration and renal indices of inhabitant in an abandoned mine area. *J Prev Med Public Health* 1998;31(2):424-39. (Korean)
 - 24) Lee MJ, Moon DH, Jo YH, Lee JT, Han YS, Jung GO. Heavy metal concentration in serum of rural inhabitants. *Inje Med J* 1995;16(2):311-26. (Korean)
 - 25) Kim HH, Lim YK, Yang JY, Moon KH, Shin DC. Distribution of inorganic metals in blood of adults in urban area of Seoul, Korea. *J Environ Toxicol* 2004;19(4):327-34. (Korean)
 - 26) Krajcovicova-Kudladkova M, Ursinyova M, Masanova V, Bederova A, Valachovicova M. Cadmium blood concentrations in relation to nutrition. *Cent Eur J Public Health* 2006;14(3):126-9.
 - 27) The Ministry of Environment, Republic of Korea. The survey on the blood levels of heavy metal concentration in Korean (translated by Kim BG). The Ministry of Environment, Republic of Korea. Seoul. 2004. (Korean)
 - 28) The Ministry of Environment, Republic of Korea. Research on the actual condition about hazardous substances in 2nd national bio-samples of Korean (translated by Kim BG). The Ministry of Environment, Republic of Korea. Seoul. 2004. (Korean)