

일부 공단지역주민의 환경노출수준 평가 연구

양희선¹ · 황문영^{2*} · 안승철² · 이지영²

¹국립환경과학원 환경건강위해성연구부 화학안전연구팀

²국립환경과학원 환경건강위해성연구부 환경역학과

A study on environmental exposure levels of residents in an industrial complex area

Hee-sun Yang¹ · Moon-Young Hwang^{2*} · Seong Chul Ahn² · Ji Young Lee²

¹Chemical Safety Team, National Institute of Environmental Research

²Environmental Epidemiology Division, National Institute of Environmental Research

As a follow-up survey of A Study of Monitoring Method on Exposure Level and Biomarkers of Environmental Pollutants-Focused on Ulsan Industrial Complex Area, published in 2005, a close examination of the health status was conducted for selected Ulsan residents. Based on the previous study, a total number of 129 subjects were divided into two groups: the exposure group consisted of 39 residents whose blood levels of lead, mercury and/or cadmium were higher than international reference values, and 90 residents of control group with normal levels. Environmental exposure level and its association with health condition were examined by various methods such as questionnaire, analyses of lead, mercury and cadmium in blood and medical examinations. The geometric mean concentrations of lead, mercury and cadmium in blood were respectively 2.07 $\mu\text{g/dl}$ (exposure 2.54 $\mu\text{g/dl}$, control 1.90 $\mu\text{g/dl}$), 5.94 $\mu\text{g/L}$ (exposure 8.57 $\mu\text{g/L}$, control 5.07 $\mu\text{g/L}$), 1.32 $\mu\text{g/L}$ (exposure

1.30 $\mu\text{g/L}$, control 1.33 $\mu\text{g/L}$).

The concentrations of the three heavy metals in blood showed lower levels than internationally recommended values except for blood mercury. Also, any abnormal or, peculiar disease, or target tissue damage related to the heavy metals was not observed among the all subjects. Therefore, it can be said that no significant difference of heavy metal concentrations and health conditions was found between the two groups.

Key Words : heavy metals, lead, mercury, cadmium, blood levels

I. 서론

2003년부터 『공단지역 환경오염 노출수준 및 건강영향 감시사업』의 일환으로서 울산지역을 대상으로 “지역주민 환경오염 노출수준 및 생체지표 모니터링” 사업(이하 “모니터

링 사업”)을 진행하고 있다.

이 사업은 공단지역의 주민을 대상으로 코호트를 구축하고 환경오염 노출수준 및 생체지표를 장기적으로 모니터링 함으로써 환경오염의 만성적 영향과 향후 제기될 수 있는 건강영향문제를 평가할 수 있는 기반을 마련하여 환경오염으

접수일: 2009년 6월 1일, 채택일: 2009년 11월 27일

* 교신저자: 황문영(인천광역시 서구 경서동 종합환경연구단지 국립환경과학원 환경건강위해성연구부 환경역학과, TEL: 032-560-7147, FAX: 032-568-2042, myrang@korea.kr)

로 인한 건강피해의 예방대책을 수립하기 위한 자료를 마련하는데 그 목적이 있다(이중태 등, 2008).

울산지역 주민을 대상으로 한 모니터링 사업에서 환경오염 노출과 연관된 생체지표 조사 및 평가에 대한 연구는 생체시료(혈액) 중의 휘발성유기오염물질 (Volatile Organic Compounds, VOCs), 다환방향족 탄화수소류(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) 및 중금속류 농도 분석에 관한 것으로 지난 2003년부터 2005년에 걸쳐 구축된 모니터링 사업의 코호트 후보자 1,500명 중 500명을 대상으로 혈액 중 중금속 5종(납, 카드뮴, 수은, 비소, 크롬)을 분석한 결과, 약 60여 명의 대상자들의 혈중 중금속(납, 카드뮴, 수은) 농도가 국제적 참고치(WHO, HBM 등)보다 높게 나타났다.

이들 대상자에 대하여 혈액 중 중금속의 농도를 측정하고 중금속 과다노출로 인한 피해가 예상되는 항목에 대해서 정밀건강검진을 실시하여 이로 인한 건강피해의 여부와 환경관련성평가 등에 대한 검토의 필요성이 대두됨에 따라 본 연구를 실시하게 되었다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사대상자 선정

“지역주민 환경오염 노출수준 및 생체지표 모니터링(울산, 2차년도)” 사업에서 혈중 중금속 농도를 측정할 대상자 500명 중 혈중 중금속(납, 수은, 카드뮴) 농도 중 하나라도 국제적 참고치보다 높게 나타난 대상자 60여 명 중 자발적 참여자 39명을 조사군으로 선정하였으며, 정상범위 검출자 중 조사군과의 성별, 연령별 분포를 고려하여 비교군 90명을 선정하였다. 총 대상자는 129명(조사군 39명, 비교군 90명)이며,

그룹별 성·연령분포는 Table 1과 같다. 조사군과 비교군 모두 남자에 비해 여자의 수가 많은 것으로 나타났으며, 두 그룹간의 성별분포의 차이는 통계적으로 유의한 수준은 아니었다($p>0.05$). 혈중 중금속 농도 참고치는 납과 수은은 German Federal Environmental Agency의 HBM II 값(납: 25 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 수은 15 $\mu\text{g}/\text{L}$)을 적용하였고, 카드뮴은 WHO 권고기준(5 $\mu\text{g}/\text{L}$)을 적용하였다.

2. 중금속 생체노출수준 조사

혈액 중 중금속 분석을 위한 시료의 채취는 해당 주민들의 건강검진과 동시 이루어졌다. 혈액은 전주정맥에서 1회용 주사기를 이용하여 20 ml(건강검진 시 기타 혈액검사를 위한 혈액 포함)을 채취하였고, 이중 중금속 분석을 위한 시료(10 ml)는 별도로 헤파린이 첨가된 진공채혈관에 넣어 잘 흔들어 주었으며 시료분석 전까지 냉장보관(4 $^{\circ}\text{C}$) 하였다.

1) 혈중 납 분석

모든 혈액(전혈)은 실험 전에 roll-mixer를 이용하여 1시간 이상 교반한 후 사용하였다. 시료의 분석은 표준물첨가법(standard addition method)을 이용하였으며, 모든 시료는 사전 혼합(pre-mix)한 후 auto-sampler(ASC-6100)를 이용하여 10 μl 씩 자동으로 주입되도록 하였다. 검량선 작성을 위한 Pb 표준용액(20, 40, 60, 80 ppb)은 Aldrich사의 1,000 ppm 용액을 증류수로 희석하여 제조하였으며, 1% TX-100은 1 L volumetric flask에 TX-100 (Sigma, USA) 10 ml와 질산(Junsei, Japan) 10 ml를 넣은 후 표선까지 증류수로 채워 제조하였다.

2) 혈중 수은 분석

모든 혈액(전혈)은 실험 전에 roll-mixer를 이용하여 1시간 이상 교반하여 주었다. 시료의 분석은 골드아말감법(가열기화법)을 이용하였으며, 모든 시료는 교반 후 Fig. 1과 같이 전

Table 1. Gender and age distributions of subjects

	Exposure	Control	Total
Gender			
Male	15(38.5)	29(32.2)	44(34.1)
Female	24(61.5)	61(67.8)	85(65.9)
Age			
10 - 29	2(5.1)	7(7.8)	9(7.0)
30 - 39	5(12.8)	16(17.8)	21(16.3)
40 - 49	12(30.8)	35(38.9)	47(36.4)
50 - 59	12(30.8)	23(25.6)	35(27.1)
over 60	8(20.5)	9(10.0)	17(13.2)
Total	39(100)	90(100)	129(100)

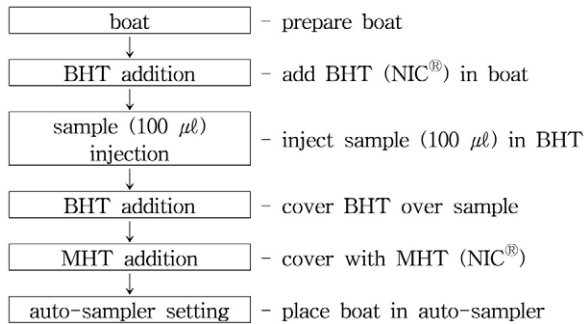


Fig. 1. Pretreatment method for a blood sample

처리 한 후, Heat Mode를 설정해 주고 분석하였다. 검량선 작성을 위한 수은 표준용액(2, 4, 6, 8 ppb)은 Wako사의 1,000 ppm 용액을 0.1% L-cysteine 용액(증류수를 사용하여 1 L volumetric flask에 10 mg의 L-cysteine과 2 mL의 질산을 첨가하여 제조)으로 희석하여 제조하였다.

3) 혈중 카드뮴 분석

혈중 카드뮴 분석에는 Graphite furnace atomizer가 부착된 원자흡광광도계(SpectrAA-800 Zeeman correction, VARIAN)를 이용하였다. 모든 혈액(전혈)은 실험 전에 roll-mixer를 이용하여 1시간 이상 교반하여 주었다. 시료의 분석은 표준물첨가법(standard addition method)을 이용하였으며, 모든 시료는 전처리 후, vortex-mixer를 사용하여 30초간 혼합한 다음 auto-sampler를 이용하여 자동으로 주입되도록 하였다. 검량선 작성을 위한 카드뮴 표준용액(1.25, 2.50, 5.00, 10 µg/L)은 Sigma사의 1,000 ppm 용액을 1% HNO₃ (Merck)를 용매로 희석하여 제조하였다. 0.1% TX-100은 증류수로 제조한 10% TX-100 5 mL과 20% NH₄HPO₄ 1 mL에 HNO₃ 0.2 mL을 가한 후 표선까지 증류수로 채워 제조하였다.

3. 건강검진

조사대상자들에 대한 건강검진은 2006년8월19일부터2009년9월 16일까지 ‘울산대학교병원 산업의학과’에 의뢰하여 실시하였다. 일반건강검진을 포함하여 중금속의 건강영향 평가를 위한 정밀건강검진을 실시하였고 검사항목은 Table 2에 나타내었다. 검진결과는 임상에서의 보편적 판단기준과 울산대학교병원 전문의의 판정기준을 적용하여 판정하였다.

4. 결과의 통계적 분석 및 해석

조사군과 비교군 간의 측정 결과에서 평균값의 차이를 검정하기 위하여 Student's t-test를 실시하였다. 생체시료 중 중금속 농도의 경우에는 log 변환 후 시행하였고, 범주형으로 측정된 변수들 사이의 관련성 분석에는 χ^2 -test를 사용하였다. 기대 관측치 수가 5미만인 cell이 있을 경우에는 Fisher의 정확도 검정(Fisher's exact test)을 시행하였다.

5. 환경관련성평가

이러한 설문조사, 건강검진, 혈중 중금속 농도 분석 결과를 바탕으로 중금속 노출과 건강상태와의 상관관계를 파악하기 위하여 환경관련성평가를 시행하였다. 먼저 노출평가를 실시하여 과노출 여부를 판단한 후 표적장기에 대한 장애를 중심으로 건강영향평가를 실시하고, 상기 두 가지 요인의 관련성을 시간적 선후(time sequence), 직업적 노출 배제, 노출정도에 따른 표적장기 변화의 적합성 등을 중심으로 종합적으로 판단하여 최종적으로 환경관련성을 평가하였다. 혈중 농도는 독일 HBM, WHO 등의 참고치와 비교하여 추적대상자

Table 2. Medical examination items

Sections	Contents	Items
General medical examination	Obesity index	Height, Weight, Body Mass index (BMI)
	Urine test	Urine glucose, Urine protein, Urine occult blood, Urine pH
	General blood test	Mean corpuscular volume, hemoglobin, Leukocyte, Red blood cell
Close medical examination	Biological exposure indicator test	ZPP (Zinc protoporphyrin)
	Anemia test	Serum iron, Serum ferritin, Total iron binding capacity
	Kidney function test	Albumin, Total protein, Serum calcium, Inorganic phosphate, β 2-microglobulin, NAG (N-acetyl- β -glucosaminidase)
	Bone density	Lumber bone density (L-Spine), Femoral bone density (Hip)
	Close diabetes test	Fasting blood glucose, Hb A1C

(recheck, 중금속 농도를 재측정하여 결과값의 재확인 필요), 평가대상자(evaluation, 당사자와 가족 등 같은 환경에 있는 사람들에 대해 정밀조사를 실시하는 것이 바람직하며, 노출원 파악 필요) 및 조치대상자(intervention, 개인노출을 줄이도록 조치해야 하고 건강검진을 받아야 하며 계속적인 의료감시 필요)로 분류하고, 추적대상(recheck) 범주 이하를 정상범위로 설정하였다.

III. 결 과

1. 중금속 생체노출수준 조사 결과

조사대상자들의 혈중 납 측정결과는 Table 3과 같다. 남자의 경우 기하평균은 조사군 2.53 $\mu\text{g/dl}$, 비교군 2.55 $\mu\text{g/dl}$ 으로 나타났으며, 통계적으로도 유의한 차이를 나타내지 않았다

($p>0.05$). 그러나 여자의 경우 기하평균은 조사군 2.55 $\mu\text{g/dl}$, 비교군 1.64 $\mu\text{g/dl}$ 로 조사군이 비교군에 비해 유의하게 높게 나타났다($p<0.05$). 또한 조사대상자 모두가 미국 CDC (Centers for Disease Control and Prevention) 권고수준으로 알려진 10 $\mu\text{g/dl}$ 이하의 농도수준으로 나타났다.

조사대상자들의 혈중 수은 측정결과는 Table 4와 같다. 남자의 경우 기하평균은 조사군 10.74 $\mu\text{g/L}$, 비교군 6.16 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났으며, 여자의 경우 기하평균은 조사군 7.44 $\mu\text{g/L}$, 비교군 4.62 $\mu\text{g/L}$ 로 나타나, 남녀 모두 조사군이 비교군에 비해 유의하게 높게 나타났다($p<0.05$). 전체적으로도 조사군(기하평균 8.57 $\mu\text{g/L}$)이 비교군(기하평균 5.07 $\mu\text{g/L}$)에 비해 유의하게 높은 수준이었다.

조사대상자들의 혈중 카드뮴 측정결과(Table 5), 남자의 경우 기하평균이 조사군 1.23 $\mu\text{g/L}$, 비교군 1.28 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났으며, 여자의 경우 기하평균이 조사군 1.34 $\mu\text{g/L}$, 비교군 1.35 $\mu\text{g/L}$ 로 나타나, 남, 여 모두 그룹 간 유의한 차이를 나타내지

Table 3. Concentration of lead in blood

(Unit : $\mu\text{g/dl}$)

Gender	Exposure			Control			Total			p-value*
	N	AM \pm SD	GM	N	AM \pm SD	GM	N	AM \pm SD	GM	
Male	15	2.68 \pm 0.89	2.53	29	2.76 \pm 1.20	2.55	44	2.73 \pm 1.09	2.55	0.839
Female	24	2.76 \pm 1.23	2.55	61	1.80 \pm 0.90	1.64	85	2.07 \pm 1.08	1.86	0.000
Total	39	2.73 \pm 1.10	2.54	90	2.11 \pm 1.09	1.90	129	2.30 \pm 1.13	2.07	0.004

*Comparisons between group by Student's t-test

AM: Arithmic mean, SD: Standard deviation, GM: Geometric mean

Table 4. Concentration of mercury in blood

(Unit : $\mu\text{g/dl}$)

Gender	Exposure			Control			Total			p-value*
	N	AM \pm SD	GM	N	AM \pm SD	GM	N	AM \pm SD	GM	
Male	15	11.43 \pm 3.89	10.74	29	7.14 \pm 3.88	6.16	44	8.61 \pm 4.36	7.44	0.001
Female	24	9.18 \pm 6.22	7.44	61	5.30 \pm 4.00	4.62	85	6.39 \pm 5.01	5.28	0.008
Total	39	10.45 \pm 5.50	8.57	90	5.89 \pm 4.03	5.07	129	7.15 \pm 4.90	5.94	0.000

*Comparisons between group by Student's t-test

AM: Arithmic mean, SD: Standard deviation, GM: Geometric mean

Table 5. Concentration of cadmium in blood

(Unit : $\mu\text{g/dl}$)

Gender	Exposure			Control			Total			p-value*
	N	AM \pm SD	GM	N	AM \pm SD	GM	N	AM \pm SD	GM	
Male	15	1.33 \pm 0.60	1.23	29	1.40 \pm 0.55	1.28	44	1.37 \pm 0.56	1.26	0.715
Female	24	1.41 \pm 0.43	1.34	61	1.46 \pm 0.59	1.35	85	1.45 \pm 0.55	1.35	0.705
Total	39	1.38 \pm 0.50	1.30	90	1.44 \pm 0.57	1.33	129	1.42 \pm 0.55	1.32	0.567

*Comparisons between group by Student's t-test

AM: Arithmic mean, SD: Standard deviation, GM: Geometric mean

않았으며($p>0.05$), 조사대상자 모두가 WHO 권고수준(WHO/IPCS, 1992b)으로 알려진 $5 \mu\text{g/L}$ 이하의 농도수준으로 나타났다.

2. 건강검진 결과

1) 일반검사 결과

조사대상자들의 일반적인 신체계측 결과(Table 6), 신장, 체중, 체질량지수 (BMI: Body Mass Index)에서 조사군과 비교군

Table 6. Results of general health examinations

(Unit : $\mu\text{g/dl}$)

Items	Exposure (N=39)	Control (N=90)	Total (N=129)	p-value*
	AM±SD			
Height (cm)	160.56± 9.67	160.19± 8.52	160.30± 8.85	0.838
Body weight (kg)	64.65± 11.72	61.95± 10.31	62.77± 10.78	0.192
BMI (kg/m²)	24.97± 3.07	24.56± 2.93	24.33± 2.99	0.122

*Comparisons between group by Student's t-test

AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation

Table 7. Results of hematologic tests

Items	Exposure		Control		Total		Gender
	N	AM \pm SD	N	AM \pm SD	N	AM \pm SD	
Mean corpuscular volume (%)	39	40.18 \pm 4.11	89	38.42 \pm 3.66	128	38.96 \pm 3.88	0.018
Hemoglobin (g/dl)	39	14.07 \pm 1.48	90	13.37 \pm 1.45	129	13.58 \pm 1.49	0.014
Leukocyte (ea/mm ³)	39	6085.6 \pm 1491.7	90	6019.1 \pm 1555.1	129	6039.3 \pm 1530.7	0.822
Red blood cell (10 ⁴ ea/mm ³)	39	453.59 \pm 48.03	90	435.70 \pm 41.07	129	441.11 \pm 43.88	0.033

*Comparisons between group by Student's t-test

AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation

Table 8. Results of urine tests

Items	Exposure (N=39)	Control (N=90)
Urine glucose	negative	negative
Urine protein	negative	negative
Urine occult blood	negative	negative
Urine pH (AM \pm SD)	6.00 \pm 0.00	6.00 \pm 0.00

AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation

Table 9. Results of ZPP and anemia tests

(Unit : $\mu\text{g/dl}$)

Items	Exposure		Control		Total		Gender
	N	AM \pm SD	N	AM \pm SD	N	AM \pm SD	
ZPP	39	21.44 \pm 10.44	89	24.40 \pm 22.80	128	23.50 \pm 19.87	0.439
Serum iron	39	120.23 \pm 48.09	90	106.53 \pm 45.89	129	110.67 \pm 46.80	0.127
Serum ferritin (ng/dl)	39	79.39 \pm 62.69	90	60.05 \pm 58.76	129	65.90 \pm 60.39	0.095
Total iron binding capacity	39	380.87 \pm 59.54	90	383.94 \pm 64.68	129	383.02 \pm 62.95	0.800

*Comparisons between group by Student's t-test

AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation, ZPP: Zinc protoporphyrin

Table 10. Results of kidney function tests

Items	Exposure (N=39)	Control (N=90)	Total (N=129)	p-value*
	AM±SD			
Albumin (g/dℓ)	4.56 ± 0.20	4.58 ± 0.24	4.58 ± 0.23	0.656
Total protein (g/dℓ)	7.49 ± 0.36	7.59 ± 0.38	7.56 ± 0.38	0.145
β ₂ -microglobulin (mg/L)	0.17 ± 0.14	0.13 ± 0.12	0.14 ± 0.13	0.217
NAG (IU/L)	9.75 ± 12.03	5.82 ± 3.62	7.02 ± 7.46	0.052
Serum calcium (mg/dℓ)	9.15 ± 0.26	9.07 ± 0.43	9.10 ± 0.39	0.302
Inorganic phosphate (mg/dℓ)	3.69 ± 0.46	3.68 ± 0.52	3.68 ± 0.50	0.872

*Comparisons between group by Student's t-test

AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation, NAG: N-acetyl-β-glucosaminidase

Table 11. Results of bone mineral density tests

(Unit : μg/dℓ)

Items	Exposure (N=39)	Control (N=90)	Total (N=129)	p-value*
	AM±SD			
Lumbar	-1.22±1.27	-0.74±1.35	-0.88±1.34	0.063
Femoral	0.10±0.98	0.27±1.16	0.22±1.11	0.412

*Comparisons between group by Student's t-test

AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation

Table 12. Results of close diabetes tests

(Unit : μg/dℓ)

Items	Exposure (N=39)	Control (N=90)	Total (N=129)	p-value*
	AM±SD			
Fasting blood glucose (mg/dℓ)	100.21 ± 30.16	95.46±12.91	96.89 ± 19.77	0.063
Hb A1C (%)	5.64 ± 1.31	5.35±0.53	5.44 ± 0.85	0.412

*Comparisons between group by Student's t-test

AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation

간에 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$).

2) 혈액학적 검사 결과

중금속 건강영향 평가를 위한 1차 건강진단을 위해 실시한 혈액학적 검사 결과(Table 7), 혈구용적치의 경우 조사군 40.18%, 비교군 38.42%로 나타났으며, 통계적으로도 유의한 차이를 나타내었다($p<0.05$).

혈색소량, 적혈구수 역시 조사군(각각 14.07 g/dℓ, 453.59 10⁴개/mm³)이 비교군(각각 13.37 g/dℓ, 435.70 10⁴개/mm³)에 비해 높게 나타났으며, 역시 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다($p<0.05$). 백혈구수는 조사군(6085.64 개/mm³)과 비교군(6019.11 개/mm³)간에 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).

3) 요 검사 결과

중금속 건강영향 평가를 위하여 1차 건강진단을 위해 실시한 요 검사에서 요당, 요단백, 요잠혈 및 요산도를 측정하고, 모든 항목에서 조사군과 비교군 간의 유의한 차이는 나

타나지 않았다(Table 8).

4) 생물학적 노출지표 검사 결과

납 노출에 의한 만성중독의 생물학적 노출지표로서 널리 사용되는 혈중 Zinc Protoporphyrin (이하 ZPP)의 경우(Table 9), 조사군 21.44 μg/dℓ, 비교군 24.40 μg/dℓ로 나타났으며, 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$). 납 노출의 건강영향 평가를 위한 2차 정밀검사로서 빈혈검사를 실시한 결과, 조사군과 비교군에서 혈청철이 각각 120.23 μg/dℓ, 106.53 μg/dℓ이었고, 혈청페리틴은 각각 79.39 ng/dℓ, 60.05 ng/dℓ, 총철결합능은 각각 380.87 μg/dℓ, 383.94 μg/dℓ로 조사군과 비교군 간에 유의한 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$).

5) 신장기능 검사 결과

중금속 건강영향 평가를 위한 2차 정밀 건강진단을 위해 실시한 신장기능 검사 결과(Table 10), 조사군과 비교군 간의 유의한 차이를 나타내는 항목은 없었다. 중금속 노출의 지표

로서 널리 사용되는 요증 N-acetyl- β -glucosaminidase 효소 (이하 NAG)의 경우, 조사군 9.75 IU/L, 비교군 5.82 IU/L으로 나타났으나 유의한 상관관계는 나타나지 않았다($p=0.052$).

6) 골밀도 검사 결과

카드뮴의 건강영향평가를 위해 실시한 골밀도 검사결과 (Table 11), 조사군과 비교군 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 그러나 요추 골밀도의 경우 비교군(-0.74 g/cm^2)에 비해 조사군(-1.22 g/cm^2)이 낮게 나타났으나, 통계적인 유의성은 나타나지 않았다($p=0.063$). 이러한 차이는 조사군에 40세 이상의 대상자가 많이 분포하기 때문인 것으로 판단된다.

7) 정밀당뇨 검사 결과

는 카드뮴의 건강영향평가를 위해 실시한 정밀당뇨검사 결과(Table 12), 공복혈당의 경우 조사군 100.21 mg/dL, 비교군 95.46 mg/dL이었으며, 내당혈색소(Hb A1C)는 조사군 5.64%, 비교군 5.35%로 나타났고 조사군과 비교군 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다($p>0.05$).

3. 중금속 농도 초과자에 대한 정밀검토

본 연구의 조사군 39명은 모니터링 사업 당시 혈중 중금속

농도가 어느 하나라도 국제적 참고치 (HBM II, WHO 등)보다 높게 나타난 대상자(이하 초과자)로서, 이들 중 혈중 납 초과자는 5명, 혈중 수은 초과자는 28명, 카드뮴 초과자는 9명(납과 카드뮴 중복 초과자 3명)이었다. 따라서 각 중금속별 초과자들에 대한 정밀검토를 실시하였다. 모니터링 사업 당시의 중금속 노출수준과 본 연구에서 중금속 노출수준을 비교한 결과, 혈중 납 초과자 5명의 경우, 모니터링 사업 당시의 농도수준은 기하평균 60.21 $\mu\text{g/dL}$ 이었으나, 본 연구에서는 기하평균 2.48 $\mu\text{g/dL}$ 로 나타났다. 혈중 수은 초과자 28명은 모니터링 사업에서 기하평균 21.43 $\mu\text{g/L}$ 으로 나타났으나, 본 연구에서는 기하평균 10.28 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났다. 혈중 카드뮴 초과자 9명의 경우 모니터링 사업에서는 9.30 $\mu\text{g/L}$, 본 연구에서는 기하평균 1.49 $\mu\text{g/L}$ 로 나타나 측정시기에 따른 농도수준에 유의한 차이를 나타내었다(Table 13).

혈중 납의 경우, 초과자 5명 전원이 CDC 권고치(10 $\mu\text{g/dL}$) 이하의 농도수준 (CDC, 1997)을 나타내었으며 납 노출에 의한 건강영향을 평가하기 위한 혈중 ZPP 검사, 빈혈검사, 신장기능 검사 및 기타 임상진단 결과에서도 정상으로 판정되었다(Table 14).

혈중 수은의 경우에는 초과자 28명 중 5명이 권고치 (15 μg

Table 13. Comparison of blood concentration levels of heavy metals

(Unit : $\mu\text{g/dL}$)

Heavy metals	N	Monitoring project		This study		N
		AM \pm SD	GM	AM \pm SD	GM	
Pb ($\mu\text{g/dL}$)	15	65.34 \pm 26.79	60.21	2.75 \pm 1.46	2.48	0.006
Hg ($\mu\text{g/L}$)	24	22.60 \pm 7.88	21.43	11.48 \pm 5.21	10.28	0.000
Cd ($\mu\text{g/L}$)	39	9.62 \pm 2.50	9.30	1.51 \pm 0.31	1.49	0.000

*p-value for Student's t-test according to the sampling time

N: Number of subjects who showed higher blood concentration levels than the recommended limits in the monitoring project, AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation, GM: Geometric mean

Table 14. Results of close medical examination for the subjects showed exceeded blood lead and ZPP concentration levels in the monitoring project

Reference/ Subjects	Age	Pb Conc. ($\mu\text{g/dL}$)	ZPP ($\mu\text{g/dL}$)	Anemia test	Kidney function test		
				Hemoglobin (g/dL)	Total prorein (g/dL)	β_2 -microglobulin (mg/L)	NAG (IU/L)
Reference		10	0~100	12.0~16.5	6.0~8.5	0~0.2	0.1~10
Pb-01	49	3.14	11	14.2	7.1		9.4
Pb-02	54	1.56	26	14.3	7.0	0.20	5.5
Pb-03	41	2.34	51	12.5	7.6	0.04	-
Pb-04	57	5.08	12	13.8	7.6	0.06	2.9
Pb-05	57	1.60	27	14.2	7.2	0.09	7.0

ZPP: Zinc protoporphyrin, NAG: N-acetyl- β -glucosaminidase

Table 15. Results of close medical examination for the subjects showed exceeded blood mercury concentration levels in the monitoring project

Reference/ Subjects	Age	Hg Conc. ($\mu\text{g/L}$)	Kidney function test			Close diabetes test		
			Total protein (g/dl)	Albumin (g/dl)	Serum calcium (mg/dl)	Inorganic phosphate (mg/dl)	Fasting blood glucose (mg/dl)	Hb A1C (%)
Reference		15	6.0~8.5	3.5~6.0	7.8~10	2.9~4.3	70~20	3.7~6.4
Hg-01	61	11.30	8.3	4.4	9.0	2.8	84	4.7
Hg-02	68	20.20	8.2	4.9	9.3	3.9	86	5.8
Hg-03	31	6.58	7.4	4.7	9.4	3.6	96	5.5
Hg-04	60	8.36	6.9	4.5	9.1	3.6	97	5.6
Hg-05	52	7.46	7.2	4.4	8.6	3.8	89	5.5
Hg-06	61	4.71	7.1	4.5	8.9	3.6	81	5.2
Hg-07	35	8.55	7.5	4.4	9.1	3.0	88	5.0
Hg-08	38	14.93	7.5	4.8	9.4	4.0	102	5.5
Hg-09	48	4.65	7.8	4.8	9.1	3.6	106	5.5
Hg-10	45	11.97	7.5	4.4	8.8	3.9	87	5.0
Hg-11	11	3.64	7.1	4.6	9.3	-	83	4.8
Hg-12	48	16.28	7.7	4.8	9.4	3.3	86	5.0
Hg-13	51	6.62	7.3	4.4	9.1	3.7	94	5.1
Hg-14	56	9.37	7.4	4.7	9.6	3.8	86	5.2
Hg-15	55	14.86	7.9	4.7	9.4	-	100	5.6
Hg-16	45	5.67	7.5	4.3	8.7	3.5	86	5.1
Hg-17	58	20.06	7.4	4.7	9.3	3.9	93	5.5
Hg-18	49	13.96	8.2	4.9	9.5	4.2	96	5.3
Hg-19	52	14.52	7.8	4.5	9.4	3.6	108	5.6
Hg-20	46	16.05	7.4	4.4	8.9	3.4	101	5.1
Hg-21	65	12.63	7.5	4.3	9.1	3.5	92	5.3
Hg-22	67	12.91	6.9	4.4	8.7	2.9	100	5.5
Hg-23	46	4.69	8.1	4.8	8.8	3.1	103	5.7
Hg-24	62	12.89	7.3	4.8	9.2	2.9	97	5.2
Hg-25	45	24.44	7.7	4.7	9.3	3.8	89	5.2
Hg-26	30	10.88	7.3	4.8	9.5	4.1	84	5.3
Hg-27	52	9.65	7.5	4.3	9.1	3.3	172	8.7
Hg-28	57	13.51	7.5	4.8	9.4	3.7	116	6.3

*p-value for Student's t-test according to the sampling time

N: Number of subjects who showed higher blood concentration levels than the recommended limits in the monitoring project, AM: Arithmetic mean, SD: Standard deviation, GM: Geometric mean

Table 16. Results of close medical examinations for the subjects showed exceeded blood cadmium concentration levels in the monitoring project

Reference/ Subjects	Cd Conc. ($\mu\text{g/L}$)	Kidney test		Bone density	
		β_2 -microglobulin (mg/L)	NAG (IU/L)	Lumber (g/cm^2)	Femoral (g/cm^2)
Reference	5	0~0.2	0.1~10	-1 : Normal -1~-2.5 : Decrease in bone density -2.5 > : Osteoporosis	
Cd-01	2.24	0.31	7.0	-1.26	-0.29
Cd-02	1.29	0.23	9.4	-1.55	0.62
Cd-03	1.40	0.36	8.4	0.28	1.18
Cd-04	1.53	0.73	21.7	-2.21	0.33
Cd-05	1.08	0.05	3.4	-2.06	-0.08
Cd-06	1.59	0.09	1.2	-0.21	-0.69
Cd-07	1.49	0.06	2.9	-0.34	1.62
Cd-08	1.51	0.26	6.2	-2.35	-0.49
Cd-09	1.48	0.09	7.0	-0.24	1.46

NAG: N-acetyl- β -glucosaminidase

/L)를 초과한 것으로 나타났으나(Table 15), 설문조사 결과 5명 전원이 치아 아말감 시술을 받은 것으로 조사되었다. 혈중 수은 초과자 28명 중 1명의 대상자를 제외하고는 신장기능 및 정밀당뇨검사 결과에서 정상치를 나타내었으나, 1명은 정밀당뇨검사 결과에서 공복혈당과 내당혈색소 항목에서 정상범위를 벗어난 수치를 나타내어 당뇨성 신증 의심으로 판정되었다. 그러나 이 대상자의 경우 혈중 수은 농도수준이 권고치 이하($9.65 \mu\text{g/L}$)였으며, 전화 인터뷰, 설문지, 병록지 등을 검토한 결과, 신장결석의 질병력이 있었으나 수은에 의한 표적 장기 장애는 없었고 무기수는 노출을 의심할 만한 상황도 발견되지 않았다.

혈중 카드뮴의 경우에는 초과자 9명 전원이 권고치($5 \mu\text{g/L}$)를 초과하지 않았으나(Table 16), 신장기능 검사 결과에서 요중 β_2 -microglobulin 수치가 정상범위를 초과하여 추적검사가 필요한 초과자가 5명으로 나타났고, 골밀도 검사 결과에서 요추 골밀도 감소 증상을 보이는 초과자가 5명, 당뇨병 의증이 1명 있었다. 그러나 이들을 대상으로 전화 인터뷰, 병록지를 검토한 결과, 카드뮴에 의한 표적 장기 장애는 없었고, 카드뮴 노출을 의심할 만한 상황도 발견되지 않아 임상적으로는 문제가 없는 것으로 판단되었다.

4. 환경관련성 평가 결과

설문조사 결과, 건강검진 및 중금속 노출수준 분석결과를 통하여 종합적으로 판단한 환경관련성 평가 결과에서, 혈중 납의 경우, 추적대상 농도인 $10 \mu\text{g/dl}$ 를 초과한 대상자는 없는 것으로 나타났다. 일부 혈중 ZPP 농도가 높은 대상자가 있었으나 이는 납 노출에 의한 것보다는 철결핍성 빈혈과 관련된 것으로 평가되었다.

대부분의 대상자가 추적대상 이하의 중금속 농도수준을 나타내었으며, 전반적으로 중금속의 영향으로 판단되는 건강상의 이상 혹은 질환이 발견된 대상자는 없었고, 각각의 중금속과 관련된 표적장기장애(납:혈중 ZPP, 빈혈, 복부선통 등, 수은:말초신경장애, 소뇌성 ataxia(운동 실조증), 언어장애 등, 카드뮴: β_2 -microglobulin, 요중 NAG 등 신장기능장애)도 나타나지 않았다.

IV. 고 찰

이 연구에서 조사대상자들의 혈중 납 농도는 일부 한두 명의 대상자를 제외하면 정규분포에 가까운 분포를 나타내었으며, 조사대상자 모두가 혈중 납 권고수준으로 알려진 $10 \mu\text{g/dl}$ 이하의 농도를 가지는 것으로 나타났다. 이러한 농도수준은 비공단지역인 춘천지역(유승도 등, 2001a)의 혈중 납 농도 수준(기하평균: 남성 $3.62 \mu\text{g/dl}$, 여성 $3.11 \mu\text{g/dl}$) 및 울산지

역을 대상으로 한 기존의 국립환경과학원(유승도 등, 2001b)의 혈중 납 농도 수준(기하평균: 남성 4.26 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 여성 2.66 $\mu\text{g}/\text{dL}$) 연구결과와 비교하였을 경우, 비슷하거나 낮은 농도 수준을 나타내었다. 또한, 국민 혈중의 중금속 농도 조사·연구(환경부, 2005)의 혈중 납 농도수준(기하평균: 남성 3.06 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 여성 2.31 $\mu\text{g}/\text{dL}$)과도 비슷하거나 낮은 농도 수준이다.

한편 미국 CDC (Center for Disease Control and Prevention)에서 제시하고 있는 아동의 혈중 납 허용기준 (CDC 1991, 1997)은 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 이며, 독일 CHBM (The Commission on Human Biological Monitoring)에서 제시한 HBM(Human Biological Monitoring) I는 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 이다 (U. Ewers 등, 1999). HBM 값은 2단계로 나뉘어져 있는데, HBM I은 일반 인구집단의 개개인에게 유해한 건강상의 영향을 줄 위험이 없는 농도수준이며, HBM II는 일반 인구집단 중 민감한 사람에게 건강피해 위험성이 증가할 수 있는 농도수준을 나타낸다. 또한 ACGHI (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 BEI (Biological Exposure Index)의 권고농도는 30 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 이다 (ACGIH, 2004).

조사대상자들의 혈중 수은 농도수준은 5.94 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로, 국민 혈중의 중금속 농도 조사·연구(환경부, 2005)의 혈중 수은 농도수준(4.34 $\mu\text{g}/\text{L}$)보다 높은 수준을 나타내었다. 미국 EPA (Environmental Protection Agency)에서 제시하고 있는 혈중 수은의 권고기준은 5.8 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이며 (US EPA, 1997), HBM I은 5 $\mu\text{g}/\text{L}$, HBM II는 15 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이다.

조사대상자들의 혈중 카드뮴 농도는 1.32 $\mu\text{g}/\text{L}$ 의 농도수준을 나타내었다. 이러한 농도수준은 국민 혈중의 중금속 농도 조사·연구의 혈중 카드뮴 농도수준(기하평균: 남성 1.55 $\mu\text{g}/\text{L}$, 여성 1.48 $\mu\text{g}/\text{L}$)보다 낮은 수준으로, 서울시 거주자를 대상으로 한 김호연 등의 연구결과(남녀, 각각 기하평균 1.2 $\mu\text{g}/\text{L}$, 1.7 $\mu\text{g}/\text{L}$)와 유사하였고, WHO의 일반인 권고치 및 미국 ACGHI의 BEI는 5 $\mu\text{g}/\text{L}$ 보다도 낮은 수준이다.

이 연구의 조사군 39명은 모니터링 사업 당시 혈중 중금속 농도가 국제적 참고치 초과자로서 각 중금속별 초과자들에게 대한 정밀검토를 실시한 결과, 혈중 납 초과자 5명의 모니터링 사업 당시의 농도수준은 기하평균 60.21 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 이었으나, 이 연구에서는 기하평균 2.48 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로 나타났으며, 혈중 수은 초과자 28명은 모니터링 사업에서 기하평균 21.43 $\mu\text{g}/\text{L}$, 본 연구에서는 기하평균 10.28 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 나타났다.

또한 혈중 카드뮴 초과자 9명도 모니터링 사업에서 9.30 $\mu\text{g}/\text{L}$, 본 연구에서는 기하평균 1.49 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 나타남으로써, 모니터링 사업 당시의 중금속 농도수준이 본 연구에서의 농도수준보다 유의하게 모두 높게 나타났다. 이는 조사대상자의 생체시료 채취 당시의 생활습관 및 건강상태 등의 차이에서 기인된 것으로 추정된다.

중금속의 농도에 따른 생물학적 노출지표 비교 결과, 조사대상자들의 혈중 ZPP의 평균값은 조사군 21.44 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 비교군이 24.20 $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로 정상범위보다 낮게 나타났고, 혈청철, 혈청페리틴, 총철결합능을 포함한 빈혈검사에서도 조사군과 비교군 간의 유의한 차이가 나타나지 않아 납으로 인한 건강장애는 없는 것으로 평가되었다. 수은의 노출로 인한 건강영향평가를 위한 전화인터뷰, 설문지, 병록지 등의 검토결과 수은 과다노출을 의심할만한 말초신경장애, 소뇌성 운동실조, 언어장애 등은 나타나지 않았다.

카드뮴 건강영향평가를 위해 실시한 골밀도 검사결과, 요추 골밀도의 경우 비교군(-0.74 g/cm^2)에 비해 조사군(-1.22 g/cm^2)이 낮게 나타났으나 유의한 상관성은 없었는데, 이러한 차이는 조사군에 40대 이상 여성들의 분포비율이 높았기 때문이라고 판단된다.

한편, 모니터링 사업에서 납과 카드뮴 농도 분석에는 ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer, Perkin Elmer, Elan 6100 DRC plus), 수은 농도 분석은 AMA (Automatic Mercury Analyzer, Milestone Co., DMA-80)를 사용하였으며, 이 연구에서 납과 카드뮴 농도 분석에는 AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer, AA-6800, Shimadzu), 수은 농도 분석은 AMA (Automatic Mercury Analyzer, NIC Co., SP-3DC)를 사용하였으므로, 중금속 분석기기의 상이함에 따라 그 농도수준에 차이가 있을 수 있음을 가정하여 이 연구에서 사용된 분석방법의 정확성을 시험하고자 교차분석 (Cross-checking)을 실시하였다. 모니터링 사업에서 혈중 중금속 농도가 국제적 참고치보다 높게 나타난 주민 39명의 혈액시료를 서울의 과학연구소 (SCL)에 분석을 의뢰한 후 그 측정값을 본 연구에서의 측정값과 비교한 결과, 한국산업안전공단에서 매년 작업환경측정 기관을 대상으로 실시하는 정도관리의 합격기준인 적합범위(보통 평균값 $\pm 2\text{SD}$ 또는 $\pm 3\text{SD}$) 내에 해당하였다. 따라서 이 연구에 사용된 분석방법은 적절한 것으로 평가되었다.

중금속 농도 분석, 건강검진, 전화인터뷰 및 병록지 검토결과를 바탕으로 환경관련성을 평가한 결과 대부분의 대상자가 추적대상 이하의 중금속 농도를 나타내었으며, 전반적으로 중금속의 영향으로 판단되는 건강상의 이상 혹은 질환이 발견된 대상자는 없었다. 또한 각각의 중금속과 관련될 표적장기장애(납:혈중 ZPP, 빈혈, 복부선통 등, 수은:말초신경장애, 소뇌성 ataxia, 언어장애 등, 카드뮴: β_2 -microglobulin, NAG, 골밀도 등 신장기능장애에 검사)도 나타나지 않았다.

따라서 당초 조사군으로 분류된 대상자 39명 전원에 대하여 중금속 노출로 인한 문제점은 없는 것으로 평가되며, 비교군 중 2명에 대하여는 1년 후 카드뮴 농도 및 이로 인한 표적장기장애 여부에 대한 추적 조사가 필요한 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서 건강검진, 생체시료 중 중금속 농도분석 결과를 바탕으로 중금속 노출과 건강상태와의 상관관계를 파악하기 위하여 환경관련성평가를 시행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 조사대상자들의 생체시료 중 중금속 농도 분석 결과, 혈중 납 $2.07 \mu\text{g/dl}$, 혈중 카드뮴 $1.32 \mu\text{g/L}$ 수준으로 국제적 권고기준 이하로 나타났다. 혈중 수은은 $5.94 \mu\text{g/L}$ 수준으로 미국 EPA 권고기준 ($5.80 \mu\text{g/L}$) 보다 약간 높게 나타났다.

2. 중금속 건강영향 평가를 위한 일반 및 정밀건강검진 결과, 혈구용적치, 혈색소량, 적혈구수에서 조사군과 비교군 간의 유의한 차이를 나타내었으며, 카드뮴의 건강영향평가를 위한 골밀도 검사에서는 요추 골밀도에서 경계적 유의성을 나타내었고 그 밖의 검사결과에서는 조사군과 비교군 간의 차이가 없었으며, 전반적으로 조사대상자들의 건강검진 결과 거의 모든 대상자들이 대부분의 항목에서 정상범위의 수치를 나타내어 건강상 문제를 야기할 수 있는 항목은 없는 것으로 판단된다.

3. 환경관련성을 평가한 결과, 대부분의 대상자가 추적대상 이하의 중금속 농도를 나타내었으며, 전반적으로 중금속의 영향으로 판단되는 건강상의 이상 혹은 질환이 발견된 대상자는 없었으며, 각각의 중금속과 관련된 표적장기장애도 나타나지 않았고, 조사군과 비교군 간의 특이한 차이는 나타나지 않았다.

결론적으로 조사군으로 분류된 대상자 39명 전원에 대하여 생체시료 중 중금속 농도 분석 및 정밀건강검진을 실시한 결과, 전반적으로 중금속으로 인한 건강상의 피해는 없는 것으로 평가된다.

모니터링 사업 당시 나타난 혈중 납 및 카드뮴의 고농도 수준은 식이습관, 생활습관 등의 영향 등으로 인해 일시적인 현상으로 판단되며, 이 연구에서도 혈중 수은 농도가 권고치를 초과한 대상자들은 식이습관 및 아말감 시술의 영향을 받을 수 있는 것으로 평가되어, 향후 지속적인 관찰이 필요한 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 김호연, 임영옥, 양지연, 호문기, 신동천. 도심지역 성인의 혈중 중금속 농도 분포. 한국환경독성학회지 2004;19:335-344
- 유승도, 김대선, 김정현, 박재성, 차정훈 등 12인. 환경오염 노출 및 건강영향 연구를 위한 기초조사. 국립환경연구원; 2001a.
- 유승도, 김대선, 김정현, 박재성, 차정훈 등 12인. 환경오염 노출 및 건강영향 실태조사 - 울산공단 - . 국립환경연구원; 2001b.
- 이종태, 조용성, 손지영, 이정원, 이승준 등 9인. 지역주민 환경오염 노출수준 및 생체시료 모니터링. 한국환경보건학회지 2008;34:188-198
- 환경부. 국민 혈중의 중금속 농도 조사 · 연구. 환경부; 2005.
- Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2004.
- Centers for Disease Control and Prevention. Preventing Lead Poisoning in Young Children: a statement by the center for disease control and prevention, Atlanta, CDC; 1991.
- Centers for Disease Control and Prevention. Screening Young Children for Lead Poisoning: guidance for state and local public health officials, Atlanta, CDC; 1997.
- U. Ewers, C. Krause, C. Schulz and M. Wihelm. Reference Values and Human Biological Monitoring Values for Environmental Toxins: report on the work and recommendations of the commission on human biological monitoring of the german federal environmental agency. Int Arch Occup Environ Health, 1999;72:255-260.
- US EPA. Mercury Study Report to Congress. US EPA, Dec. 1997. Available from: URL:<http://epa.gov/airprog/oar/mercury.html>.
- WHO/IPCS. Environmental health criteria 135-Cadmium, environmental aspect, Geneva, WHO; 1992b.