

울산지역 어린이들의 혈중 연, 요중 비소 및 카드뮴 농도 변화추이 - 3년 추적조사

이충렬, 유철인, 이지호, 이 현, 김양호

울산대학교 의과대학 산업·환경의학교실

Trend of the Changes in the Level of Blood Lead, Urinary Arsenic and Urinary Cadmium of Children in Ulsan ; 3-year Follow-up Study

Choong Ryeol Lee, Cheol In Yoo, Ji Ho Lee, Hun Lee, Yangho Kim

Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine, University of Ulsan

Objectives : To obtain basic data on blood lead level and urinary level of arsenic and cadmium of children living near a petrochemical estate and a suburban area in Ulsan, Korea and to observe the trend of the changes in the level of these metals in these children.

Methods : The study subjects comprised 626 children living near a petrochemical estate and 299 children living in a suburban area of Ulsan. We analyzed the level of lead, arsenic and cadmium using atomic absorption spectrometer.

Results : The mean levels of blood lead in children living near the petrochemical estate were 5.25 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 5.24 $\mu\text{g}/\text{dl}$, and 7.24 $\mu\text{g}/\text{dl}$ in the years 1997, 1999, and 2000, respectively, whereas those of children living in the suburban area were 3.81 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 4.75 $\mu\text{g}/\text{dl}$, and 7.19 $\mu\text{g}/\text{dl}$ respectively. The mean levels of urinary arsenic in children living near the petrochemical estate were 4.57 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, 4.78 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, and 6.02 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine in the year 1997, 1999, and 2000 respectively, whereas those of children living in suburban area were 2.35 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, 4.75 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, and 7.07 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine,

respectively. The mean levels of urinary cadmium in children living near the petrochemical estate were 1.15 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, 1.05 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, and 1.71 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine in the year 1997, 1999, and 2000, respectively, whereas those of the children living in the suburban area were 0.74 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, 1.29 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, and 1.48 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine, respectively. There were increasing trends in the level of blood lead, urinary arsenic and cadmium of children in Ulsan, and the differences in the level of these metals were disappearing between the children living in other areas year by year.

Conclusions : These results suggest that the amount of exposure to lead, arsenic, and cadmium is increasing from year to year, and there is a need for periodic biological and atmospheric monitoring of these metals in Ulsan.

Korean J Prev Med 2001;34(2):166-174

Key Words: Blood lead, Urinary arsenic, Urinary cadmium, Children

서 론

소아의 연중독에 관한 정의는 시대에 따라 변화해 왔는데 1960년대 중반에는 혈중 연농도가 60 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상인 경우에만 독성이 있다고 하였으나 1970년대 중반에는 연중독의 개념은 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 감소되었으며 특히 소아의 경우에는 성인의 정상범위에 속하는 20~40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 의 연농도에서도 여러 가지 장애들이 보고됨에 따라[1-2] 미국의 CDC(Centers for Disease

Control and Prevention)에서는 1985년 소아에서의 허용가능 혈중 농도를 25 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 수정하였다[3]. 그러나 최근에 이루어진 여러 가지 코호트 연구를 통하여 10~20 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 정도의 저농도에서도 소아들은 여러 가지 건강장애들을 보고함에 따라[2],[4] 혈중 연농도 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 미만을 소아에서 허용가능한(acceptable) 연농도로 규정하고 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이상일 경우 여러 가지 조치들을 취해야 한다고 규정하였고[5], 이러한 기준치는 1993년 미국의 소아과

학회에서도 채택되어 현재까지 시행되고 있다. 또한 최근에는 안전하다고 믿었던 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 미만의 혈중 연농도에서도 발달장애[6], 지적수행능력저하와 신경행동학적 기능장애[7], 성장지연[8-9], 청력저하[10] 등이 보고되고 있어 최근에는 연에 있어서는 소아에서 안전한 농도가 없다고 까지 생각되어지고 있다[11].

미국의 National Health and Nutrition Examination Surveys(NHANES)에서 1976년에서 1980년 사이의 미국전역의 인구 9,832명을 대상으로 한 조사에서 이들의 평균 혈중 연 농도는 12.8 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 였으

나 1988년에서 1991년 사이에 12,119명을 대상으로 한 조사에서는 2.8 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 혈중 연 농도가 감소하였다고 보고하였으며 이러한 혈중 연농도의 감소는 가솔린에 첨가되는 연의 감소가 주된 원인이며 다음으로는 납땀한 용기에서의 납의 감소로 초래되었다고 보고하였으나, 아직 까지도 나이, 성별, 인종, 사회경제적 수준에 따라 여전히 혈중 연농도가 차이가 있다고 보고하였다[12].

그러나 우리 나라의 경우 아직 소아의 혈중 연 농도 관리기준치도 없을 뿐만 아니라 어린이 혈중 연농도 연구도 일부 지역 어린이들을 대상으로 실시된 것 이외는 아직은 많지 않고, 저농도 연노출로 인한 건강장애 평가에 관한 연구도 드문 실정이다[13-15].

비소는 수많은 철광석 및 비철광석에서 발견되며 공기와 음식, 제련업, 살충제와 지열발전소 등과 관련된 산업에서도 발견된다. 또한 연, 아연, 동, 철 등의 처리와 비소와의 합금, 농작물의 제조와 가공, 유리, 도자기제조, 의약품과 농약의 제조 운반 및 보관, 목재의 방부제 처리과정 등에서 노출될 수 있으며 생활환경 내에서는 살충제, 살서제, 방부제, 농약 등을 통하여 체내로 흡입될 수 있다. 오염된 샘물이나 분유, 간장 등을 먹고 중독될 수도 있고 해조류에 축적된 유기비소제를 먹어 인체에 흡입될 수도 있다[16]. 그러나 아직 비직업적 노출자들을 대상으로 비소 노출에 관한 연구는 비교적 드물며, 특히 공단지역 인근 초등학교생들을 대상으로 요중 비소를 측정하는 연구는 국내의 경우 1999년 Lee 등[17]에 의하여 보고된 경우를 제외하고는 거의 없는 실정이나 외국의 경우는 공단 주변 어린이들을 대상으로 Baker 등[18], Bencko 등[19], Morse 등[20], Trepka 등[21], Hwang 등[22]의 연구 보고가 있고 세계보건기구[16]에서는 비소의 비직업성 노출자의 경우 요중 비소농도를 30 $\mu\text{g}/\text{l}$ 으로 제시하였다.

카드뮴은 아연광석의 채광이나 제련과정에서 부산물로 생성되며, 내식성이 강하기 때문에 전기도금이나 판금의 용접,

합금, 염화비닐의 안정제, 형광등, 반도체, 보석, 자동차와 항공기제작, 축전지, 광전지 뿐만 아니라 도기나 페인트의 색소, 살충제, 살균제, 유리제조 및 사진술 등에 광범위하게 사용되고 있어 자연환경 중에 분진이나 흙 형태로 노출량이 증가하고 있으며 토양이나 수질오염에 의해 식품을 통한 흡입이 될 수도 있다[16]. 그러나 비소와 마찬가지로 비직업적 노출자들을 대상으로 카드뮴 노출에 관한 연구는 비교적 드물며, 특히 공단지역 인근 어린이들을 대상으로 요중 카드뮴을 측정하는 연구는 1999년 Lee 등[17]에 의하여 보고된 경우를 제외하고는 거의 없는 실정이다. 외국의 경우도 직업적 노출자들을 대상으로 한 연구는 많으나 비직업성 노출자들을 대상으로 한 연구는 Kowal 등[23], Barltrop과 Strehlow[24], Staessen 등[25], Kido 등[26], Kawada 등[27]의 연구 보고가 있으나 어린이들을 대상으로 하지는 않았다. 세계보건기구[16]에서 카드뮴에 비직업성 노출자의 경우 요중 카드뮴 기준치를 2 $\mu\text{g}/\text{g creatinine}$ (이하 Cr)으로 제시한 바 있다.

본 연구의 목적은 울산시의 석유화학 공단지역 인근에 위치하여 공단에서의 분진, 산업폐기물 소각장, 교통량 증가로 인한 피해를 많이 받는 것으로 추정되는 석유화학 공단 인근 초등학교생들을 대상으로 연, 비소, 카드뮴 노출에 따른 건강장애를 예측하고 평가하기 위한 기초 자

료를 확보하기 위하여, 동일지역의 동일 연령층을 대상으로 3년간 혈중 연, 요중 비소 및 카드뮴 농도 조사를 진행하여 현재의 중금속 오염실태를 파악하고 매년 농도변화 추이를 관찰하는데 있다.

대상 및 방법

1. 조사지역

Figure 1에서와 같이 A 초등학교는 유성화학단지과 인접한 곳에 위치하고 있으며 계절의 변화에 따른 풍향에 따라 바다 건너의 석유화학공단의 각종 공장의 영향을 많이 받으며, B 초등학교 역시 석유화학공단의 입구에 위치하고 있는데 학교 앞으로 골짜기를 관통하여 건설된 대로가 있고 뒤로는 녹지가 형성되어 있으나 석유화학공단의 인근에 위치하기 때문에 해안 쪽에서 육지로 바람이 부는 날이나 저기압이 형성되는 계절에는 공단에서 배출된 각종 휘발성 유기화합물에서 기인된 악취와 분진 등의 영향을 많이 받는 곳이며 역시 풍향에 따라 유성화학단지의 공장의 영향도 받을 수 있는 곳에 위치하고 있다. C 초등학교는 울산에서 밀양으로 빠져나가는 길목에 있는 학교로서 주민들의 상당수는 농업과 상업에 종사하며 비교적 공장도 적고 울산의 대표적 공단인 석유화학공단이나 온산공단 등의 영향을 적게 받는 지역이나 최근 지역의 발전으로 소규모 공장 및 아파트

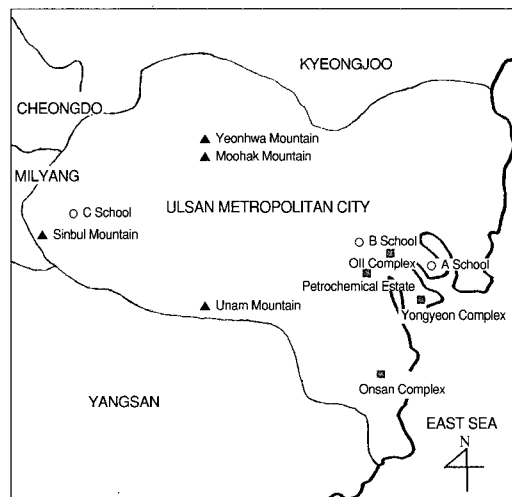


Figure 1. Location of study schools.

산축, 교통량의 증가가 두드러지게 느는 지역이다.

조사대상지역에서의 대기 중 중금속 측정자료는 없으나 울산시와 환경부가 운영하는 대기오염 자동측정망 9개소 중 상업지역과 주거지역 2곳의 자동측정망에서 측정된 각종 대기 중 중금속농도 [28]는 Table 1에서와 같이 연의 경우 3개월 평균 농도가 1996년 0.0677 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1997년 0.0688 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1998년 0.0703 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 증가하다가 1999년 0.0652 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다시 감소하는 경향을 보이고 있으나 카드뮴, 철, 니켈 등은 1998년에 최저 농도를 보인 후 다시 증가하는 경향을 보였으며, 구리 농도는 매년 증가하는 것으로 나타났다.

2. 조사대상

조사대상은 Table 2에서와 같이 1차 조사는 1997년 12월에 A 초등학교와 B 초등학교 학생 326명(남자 174명, 여자 152명)을 공단지역 학생군으로 교외지역의 C 초등학교 학생 100명(남자 50명, 여자

50명)을 대조군으로 하였다. A와 B 초등학교 학생은 3학년 및 6학년 전수조사를 하였으며, C 초등학교 학생은 3학년과 6학년에 무작위로 학년별로 2반씩 선정한 후 남자 50명, 여자 50명 총 100명에 대하여 조사하였다. 2차 조사는 1999년 4월에 A 초등학교와 B 초등학교 학생 150명(남자 76명, 여자 74명)을 공단지역 학생군으로 전원지역의 C 초등학교 학생 100명(남자 53명, 여자 47명)을 대조군으로 하였다. A 초등학교 학생은 3학년 및 6학년 51명 전수 조사를 하였으며, B 초등학교 학생은 3학년, 6학년 180명 중 반별로 무작위로 2반씩 선별하여 남자 49명 여자 50명 총 99명에 대하여 조사하였다. C 초등학교 학생은 역시 무작위로 학년별로 2반씩 선정한 후 남자 53명, 여자 47명 총 100명에 대하여 조사하였다. 3차 조사는 2000년 4월에 A 초등학교와 B 초등학교 학생 150명(남자 85명, 여자 65명)을 공단지역 학생군으로 전원지역의 C 초등학교 학생 99명(남자 49명, 여자 50명)을 대조군으로 하였다. A 초등학교 학생은 3학년 및 6학년 49명 전수

조사를 하였으며, B 초등학교 학생은 3학년, 6학년 180명 중 반별로 무작위로 2반씩 선별하여 남자 50명 여자 51명 총 101명에 대하여 조사하였다. C 초등학교 학생은 역시 무작위로 학년별로 2반씩 선정한 후 남자 49명, 여자 50명 총 99명에 대하여 조사하였다. 매년 조사 때마다 남녀 성비간, 연령간(학년간) 구성비율은 서로 비슷하였으며 실제 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

3. 조사내용

조사대상자의 신장 기능이상으로 인한 요중 (중)금속 농도 조사의 오차를 줄이기 위해 신장기능검사를 동시에 실시하였는데 혈청 요소질소검사, 혈청 크레아티닌검사 등의 검사에서 이상 수치를 보인 경우는 자료 분석시 제외하였다.

(중)금속검사는 혈중 연, 요중 비소 및 카드뮴검사를 실시하였다.

혈중연의 분석방법은 정맥혈 3ml를 해파린 처리된 용기에 채취하여 graphite furnace를 갖춘 비불꽃 원자흡광광도계 (Flameless Atomic Absorption Spectrophotometer, Spectra AA 100/200, Varian, Australia)를 이용하여 표준첨가법으로 파장 283.3 nm, Lamp current 5.0 mA에서 건조온도 120 $^{\circ}\text{C}$ 로 10초간, 회화 온도 600 $^{\circ}\text{C}$ 로 15초간, 원자화온도 2,000 $^{\circ}\text{C}$ 로 2초간 3단계를 거쳐서 측정하였으며 혈액표본용량은 전혈을 Triton X-100 용액으로 희석하여 희석액 10 μl 를 사용하여 측정하였다.

Table 1. The results of environmental survey executed by the automated air pollution monitoring system between 1996 and 1999

Environmental standard		unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3/3\text{ month}$			
		1996	1997	1998	1999
Lead	1.5	0.0677	0.0688	0.0703	0.0652
Cadmium	-	0.0165	0.0238	0.0152	0.0185
Iron	-	1.2881	1.1943	1.0270	1.1381
Copper	-	0.1177	0.2390	0.4398	0.5673
Manganese	-	0.0484	0.0454	0.0463	0.0487
Nickel	-	0.0140	0.0192	0.0114	0.0122

Table 2. Distribution of age and sex of study subjects

School		A			B			C			Total
Year	Age(Years)	Boy	Girl	Subtotal	Boy	Girl	Subtotal	Boy	Girl	Subtotal	
1997	8	16	13	29	57	55	112	25	25	50	191
	11	30	23	53	71	61	132	25	25	50	235
	Subtotal	46	36	82	128	116	244	50	50	100	426
1999	8	12	14	26	23	26	49	28	22	50	125
	11	15	10	25	26	24	50	25	25	50	125
	Subtotal	27	24	51	49	50	99	53	47	100	250
2000	8	19	6	25	25	25	50	24	25	49	124
	11	16	8	24	25	26	51	25	25	50	125
	Subtotal	35	14	49	50	51	101	49	50	99	249

unit : person

요중 비소는 cold vapor 방식을 갖춘 불꽃 원자 흡광 광도계(Flame Atomic Absorption Spectrophotometer, Spectra AA 200FS, Varian, Australia)를 이용하여 비소는 파장 193.7 nm, slit width 0.5 nm, Lamp current 10.0 mA에서 concentration법으로 소변에 3.5% 염산을 넣어 혼합한 다음 20% potassium iodide 용액을 가해 섞은 후에 70 °C에서 10분간 항온한 후 분석하였다.

요중 카드뮴은 graphite furnace를 갖춘 비불꽃 원자 흡광 광도계(Flameless Atomic Absorption Spectrophotometer, Spectra AA 100/200, Varian, Australia)를 이용하여 표준첨가법으로 파장 228.8 nm, slit width 0.5 nm, Lamp current 4.0 mA에서 건조온도 95 °C로 40초간, 회화온도 250 °C로 8초간, 원자화온도 1,800 °C로 2초간 3단계를 거쳐서 소변표본에 Triton X-100용액으로 희석하여 분석하였다.

(중)금속분석의 정확도를 확인하기 위해 내부적으로는 수시로 lyphochek(BIO-RAD, 미국)을 이용하여 연, 비소, 카드뮴 등에 대해 recovery test를 실시하고 있으며, 외부적으로는 연 2회 산업안전공단에서 연, 카드뮴, 수은분석 정도관리를 받고 있는데 외부 정도관리는 정도관리 실시 이래 계속 합격관정을 받고 있다. 모든 (중)금속검사는 3번씩 반복 측정하였다.

요중 (중)금속 분석시 일시뇨를 이용한 단점을 보완하기 위하여 요중 크레아티닌량을 Jaffe법[29]을 이용하여 검사한 후 요중 (중)금속 검사값을 보정하였다.

4. 통계처리방법

SPSS for Windows release 7.5를 이용하여 검사결과의 입력 관리를 하였으며, (중)금속 농도 조사 자료의 분포성 검정을 위하여 콜모고로프-스미르노프검정을, 학교간의 자료를 비교하기 위하여 χ^2 -검정과 ANOVA(분산분석) 및 student t-test를 이용하였다.

결 과

혈중 연과 요중 비소 및 카드뮴 검사 결과의 분포를 알아보기 위해 콜모고로프-스미르노프검정을 해본 결과 1997년 조사에서는 혈중 연, 요중 비소 및 카드뮴 농도 모두 대수정규분포하였다. 1999년 조사에서는 혈중 연과 요중 카드뮴은 연령과 무관하게 대수정규분포를 하였으나 요중 비소는 11세에서만 대수정규분포를 하였다. 2000년 조사에서는 혈중 연과 요중 비소는 연령에 무관하게 대수정규분포를 하였으나 요중 카드뮴은 11세의 결과에서만 대수정규분포를 하였다. 그러나

자료의 수가 적었고 일반적으로 혈중 또는 요중 중금속량은 대수정규분포를 하는 것으로 알려져 있기 때문에 각 결과의 비교를 위해 각 측정치의 기하평균과 기하표준편차를 구하였다.

1. 혈중연

혈중 연 농도는 Table 3에서와 같이 1997년 조사에서는 석유화학공단 인근의 A 초등학교생과 B 초등학교생이 5.25 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이었으나 교외지역의 C 초등학교생은 3.81 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로서 유의한 차이를 보였다 ($p=0.000$). 1999년 조사에서도 공단지역 학생군은 5.24 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이었는데 반해 교외

Table 3. Mean blood lead level of study subjects

unit : $\mu\text{g}/\text{dl}$

Year	Variables	No.	G.M*. (min-max)	G.S.D.†	p value	
1997	School	A	82	7.98(0.85-11.50)	1.15	<0.001
		B	244	4.39(0.41-11.33)	1.36	0.086
		C	100	3.81(0.01-8.62)	2.30	
	Area	Industrial	326	5.25(1.01-11.50)	1.47	<0.001
		Suburban	100	3.81(0.01-8.62)	2.30	
	Sex	Boy	224	5.03(0.85-11.50)	1.58	0.130
		Girl	202	4.75(0.01-9.95)	1.84	
	Age	8 years	191	4.84(0.41-11.33)	1.57	0.331
		11 year	235	4.94(0.01-11.50)	1.83	
		Subtotal	426	4.86(0.01-11.50)	1.70	
1999	School	A	51	6.40(2.51-10.72)	1.37	<0.001
		B	99	4.89(2.24-10.23)	1.31	0.761
		C	100	4.75(2.75-15.85)	1.35	
	Area	Industrial	150	5.24(2.24-10.72)	1.37	0.002
		Suburban	100	4.75(2.75-15.85)	1.35	
	Sex	Boy	129	5.26(2.24-12.02)	1.37	0.118
		Girl	121	4.95(2.29-15.85)	1.36	
	Age	8 years	125	4.97(2.24-15.85)	1.42	0.175
		11 years	125	5.24(3.02-11.75)	1.30	
		Subtotal	250	5.11(2.24-15.85)	1.36	
2000	School	A	49	7.53(5.25-11.48)	1.18	0.179
		B	101	7.11(5.37-9.55)	1.14	0.861
		C	99	7.19(5.01-10.47)	1.16	
	Area	Industrial	150	7.24(5.24-11.48)	1.15	0.679
		Suburban	99	7.19(5.01-10.47)	1.16	
	Sex	Boy	134	7.25(5.01-14.48)	1.17	0.563
		Girl	115	7.18(5.25-10.47)	1.14	
	Age	8 years	124	7.28(5.25-11.48)	1.16	0.380
		11 years	125	7.16(5.01-10.0)	1.15	
		Subtotal	249	7.22(5.01-11.48)	1.16	

G.M.*: Geometric mean, G.S.D.†: Geometric standard deviation

p-value was obtained by ANOVA and student t-test of comparing each school with C School

지역의 C 초등학교는 4.75 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 유의한 차이가 있었다($p=0.002$). 그러나 2000년 조사에서는 공단지역 학생군 7.24 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 교외지역 학생군 7.19 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 유의한 차이는 없었다. 성별, 연령별 차이는 유의하지 않았다.

2. 요중 비소 및 카드뮴

요중 비소 농도는 Table 4에서와 같이 1997년 조사에서는 석유화학공단 인근의 A 초등학교와 B 초등학교가 4.57 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr이었으나 교외지역의 C 초등학교는 2.35 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로서 유의한 차이를 보였다($p=0.009$). 그러나 1999년 조사에서는 공단지역 학생군은 4.78 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr이었는데 반해 교외지역의 C 초등학교는 4.75 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr로 유의한 차이가 없었다. 2000년 조사에서도 공단지역 학생군 6.02 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 교외지역 학생군 7.07 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로 교외지역이 높았으나 유의한 차이가 없었다. 1997년과 1999년 조사에서 성별차이는 유의하였으나(각각 $p=0.034$, $p=0.008$), 연령별 차이는 1997년 조사 때만 유의하였다($p=0.031$).

요중 카드뮴 농도는 Table 5에서와 같이 1997년 조사에서는 석유화학공단 인근의 A 초등학교와 B 초등학교가 1.15 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr이었으나 교외지역의 C 초등학교는 0.74 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로서 유의한 차이를 보였다($p=0.009$). 1999년 조사에서는 공단지역 학생군은 1.05 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr이었는데 반해 교외지역의 C 초등학교는 1.29 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로 교외지역의 초등학교가 유의하게 높았다($p=0.003$). 그러나 2000년 조사에서는 공단지역 학생군 1.71 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 교외지역 학생군 1.48 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로 유의한 차이가 없었다. 성별 차이는 2000년 조사 때만 있었다($p=0.015$). 연령별 차이는 1997년 조사 때만 유의하였다($p=0.041$).

3. 연도별 혈중 연, 요중 비소 및 카드뮴 농도

1997년, 1999년 및 2000년 조사 결과를 비교하면 혈중 연의 경우 A 초등학교는 1997년 7.98 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 1999년 6.40 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 2000년 7.53 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 감소하다가 다시 증

Table 4. Mean urinary arsenic level of study subjects unit : $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine

Year	Variables	No.	G.M*. (min-max)	G.S.D.†	p value	
1997	School	A	82	5.17(0.83-35.48)	1.95	0.005
		B	244	4.40(0.21-58.88)	2.30	0.009
		C	100	2.35(0.22-6.03)	1.90	
	Area	Industrial	326	4.57(0.21-58.88)	2.20	0.009
		Suburban	100	2.35(0.22-6.03)	1.90	
	Sex	Boy	224	4.24(0.44-58.88)	2.15	0.034
		Girl	202	3.59(0.21-35.48)	2.35	
Age	8 years	191	3.55(0.34-35.48)	2.21	0.031	
	11 years	235	4.26(0.21-58.88)	2.27		
	Subtotal	426	3.93(0.21-58.88)	2.25		
1999	School	A	51	5.17(0.07-48.98)	3.38	0.899
		B	99	4.60(0.21-29.51)	3.58	0.978
		C	100	4.75(0.07-39.81)	3.58	
	Area	Industrial	150	4.78(0.07-48.98)	2.53	0.956
		Suburban	100	4.75(0.07-39.81)	3.58	
	Sex	Boy	129	5.68(0.17-43.61)	2.65	0.008
		Girl	121	3.95(0.07-48.98)	3.17	
	Age	8 years	125	4.92(0.07-48.98)	3.11	0.660
		11 years	125	4.63(0.07-39.81)	2.77	
		Subtotal	250	4.77(0.07-48.98)	2.94	
2000	School	A	49	8.83(5.25-23.44)	1.42	0.018
		B	101	5.00(1.51-17.78)	1.61	<0.001
		C	99	7.07(3.02-31.62)	1.58	
	Area	Industrial	150	6.02(1.51-23.44)	1.67	0.013
		Suburban	99	7.07(3.02-31.62)	1.58	
	Sex	Boy	134	6.42(1.51-18.62)	1.56	0.981
		Girl	115	6.41(1.51-31.62)	1.74	
	Age	8 years	124	6.71(1.51-31.62)	1.76	0.167
		11 years	125	4.83(1.45-13.49)	1.64	
		Subtotal	249	6.42(1.51-31.62)	1.64	

G.M.*; Geometric mean, G.S.D.† ; Geometric standard deviation
p-value was obtained by ANOVA and student t-test of comparing each school with C School

가하였으며, B 초등학교는 1997년 4.39 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 1999년 4.89 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 2000년 7.11 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 매년 증가하였으며, C 초등학교도 1997년 3.81 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 1999년 4.75 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 2000년 7.19 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 매년 증가하였다. 요중 비소의 경우는 A 초등학교는 1997년 5.17 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 1999년 5.17 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 2000년 8.83 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로 감소하다가 다시 증가하였으며, B 초등학교는 1997년 4.40 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 1999년 4.60 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 2000년 5.00 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로 매년 증가하였으며, C 초등학교도 1997년 2.35 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 1999년 4.75 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 2000년 7.07 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로 매년 증가하였다. 요중 카드뮴의 경우는

A 초등학교는 1997년 1.16 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 1999년 0.96 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 2000년 1.49 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로 감소 후 다시 증가하였으며, B 초등학교도 1997년 1.20 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 1999년 1.09 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 2000년 1.83 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로 역시 감소 후 다시 증가하였다. 그러나 C 초등학교는 1997년 0.74 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 1999년 1.29 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr, 2000년 1.48 $\mu\text{g}/\text{g}$ Cr으로 매년 증가하였다(Table 3, 4, 5).

변화 양상을 쉽게 이해하기 위하여 대수정규분포를 하는 각 측정치를 연도별로 선도표를 이용하여 나타낸 것이 Figure 2, Figure 3, Figure 4이다.

Table 5. Mean urinary cadmium level of study subjects unit : $\mu\text{g/g}$ creatinine

Year	Variables	No.	G.M*. (min-max)	G.S.D.†	p value	
1997	School	A	82	1.16(0.32-5.25)	1.70	0.034
		B	244	1.20(0.10-15.14)	2.12	0.007
		C	100	0.74(0.05-11.75)	2.30	
	Area	Industrial	326	1.15(0.14-15.14)	2.01	0.009
		Suburban	100	0.74(0.05-11.75)	2.30	
	Sex	Boy	224	1.11(0.05-15.14)	2.31	0.288
		Girl	202	1.00(0.19-6.03)	1.95	
	Age	8 years	191	0.70(0.05-15.14)	2.15	0.041
		11 years	235	1.13(0.12-11.75)	2.09	
		Subtotal	426	1.04(0.05-15.14)	2.12	
1999	School	A	51	0.96(0.39-9.33)	1.71	0.007
		B	99	1.09(0.40-15.14)	1.81	0.084
		C	100	1.29(0.44-5.37)	1.59	
	Area	Industrial	150	1.05(0.39-15.14)	1.78	0.003
		Suburban	100	1.29(0.44-5.37)	1.59	
	Sex	Boy	129	1.12(0.39-12.88)	1.65	0.679
		Girl	121	1.15(0.41-15.14)	1.80	
	Age	8 years	125	1.10(0.40-9.33)	1.68	0.285
		11 years	125	1.18(0.39-15.14)	1.76	
		Subtotal	250	1.14(0.39-15.14)	1.72	
2000	School	A	49	1.49(0.63-5.89)	1.60	0.998
		B	101	1.83(0.49-16.22)	2.09	0.071
		C	99	1.48(0.56-14.13)	1.87	
	Area	Industrial	150	1.71(0.49-16.22)	1.94	0.087
		Suburban	99	1.48(0.56-14.13)	1.87	
	Sex	Boy	134	1.47(0.65-16.22)	1.77	0.015
		Girl	115	1.80(0.49-14.13)	2.06	
	Age	8 years	124	1.75(0.49-16.22)	2.07	0.060
		11 years	125	1.50(0.56-11.22)	1.75	
		Subtotal	249	1.62(0.49-16.22)	1.92	

G.M.*: Geometric mean, G.S.D.†: Geometric standard deviation
 p-value was obtained by ANOVA and student t-test of comparing each school with C School

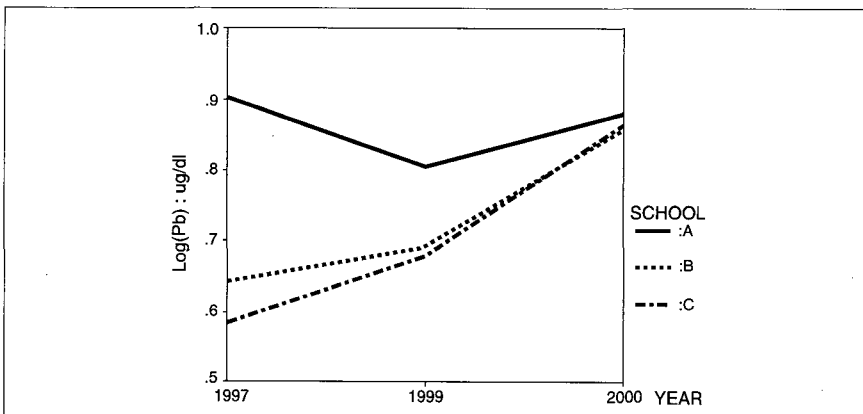


Figure 2. Blood lead level by year.

고 찰

국내에서 조사된 소아의 혈중 연 농도에 관한 최근의 연구를 보면 Lee 등[14]이 도심지역과 교외지역의 6~8세 사이의 아동 188명에 대한 조사에서 이들의 혈중 평균 연 농도는 산술평균이 $7.24 \mu\text{g/dl}$ 이었으며 도심지역은 $8.17 \mu\text{g/dl}$, 교외지역은 $6.14 \mu\text{g/dl}$ 로 도심지역의 아동에서 혈중 연농도가 유의하게 높았다고 발표하였으며 이러한 차이는 도심지역군이 상대적으로 공단지역에 인접하고 있었던 것과 교통량이 많은 것 등 상대적으로 환경오염이 심한 것이 주원인으로 생각하였다.

또한 Kim 등[13]은 1992년 대구시내 초등학교 4학년생 100명을 대상으로 혈중 연 농도를 측정하여 산술평균치인 $6.00 \mu\text{g/dl}$ 라 보고한 바 있으며, Kim 등[30]도 공단지역의 주민의 체대혈중 연 농도는 $5.4 \mu\text{g/dl}$, 거주지역 주민은 $5.0 \mu\text{g/dl}$ 라 보고하였고, Yang 등[31]은 서울, 경기, 충북, 전북지역의 연에 노출된 적이 없는 20~50세 사이의 525명의 학교 교사들의 혈중 연농도에 관한 조사에서 이들의 평균 혈중 기하농도는 $5.79 \mu\text{g/dl}$ 이며, 이전의 조사보다 혈중 연농도가 감소한 원인으로 1993년 이후 무연 휘발유의 사용으로 가솔린에 첨가되는 연의 양이 0.3 g/l 에서 0.013 g/l 로 감소하였기 때문으로 추정하였다.

Park과 Jeong[32]이 연에 노출된 적이 없는 16~25세 사이의 건강인 145명을 대상으로 한 연구에 의하면 이들의 전체 혈중 연농도는 산술평균이 $14.83 \mu\text{g/dl}$, 기하평균이 $14.06 \mu\text{g/dl}$ 로 나타났으며 서울, 부산, 대구, 인천 등의 대도시 지역이 그 외의 다른 지역보다 높은 것으로 나타났다.

외국의 자료를 보면 Pirkle 등[12]이 6~19세의 혈중 연농도는 $1.9 \mu\text{g/dl}$ 로 보고한 바 있고 Rifai 등[33]은 도심지역과 부도심지역 그리고 교외지역을 구분하여 소아들의 혈중 연농도를 조사하였는데 도심지역의 소아에서 혈중 연농도가 $10.4 \mu\text{g/dl}$ 로 부도심지역의 $4.2 \mu\text{g/dl}$, 교외지

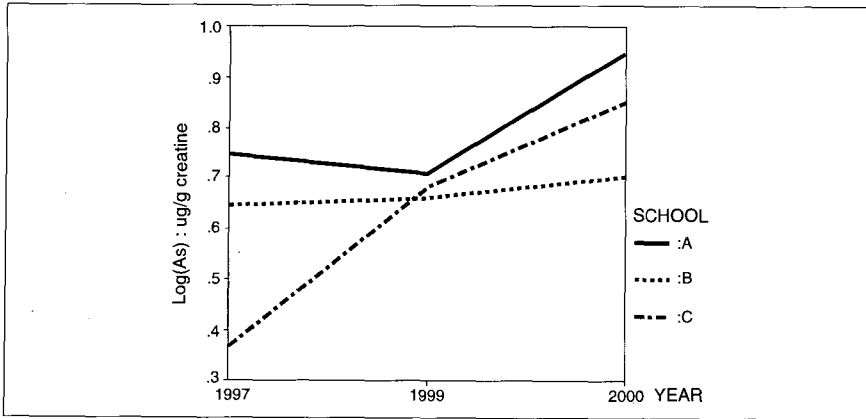


Figure 3. Urinary arsenic level by year.

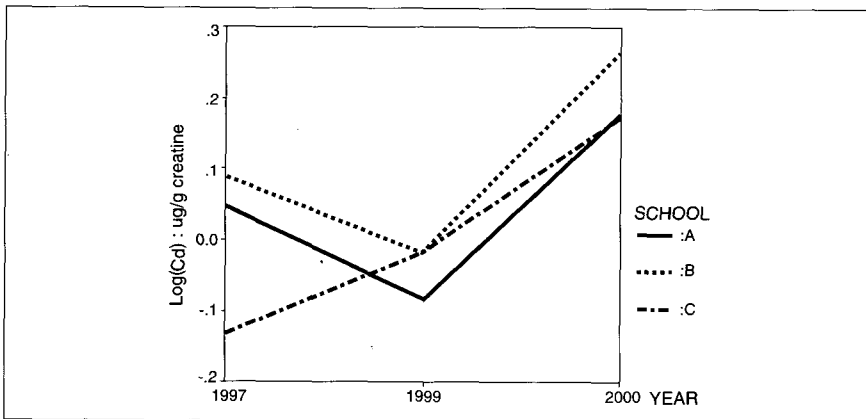


Figure 4. Urinary cadmium level by year.

역의 4.3 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 보다 상대적으로 높았음을 보고하였다.

본 연구에서의 혈중 연 농도는 1997년 조사 때는 A 초등학교의 경우만 Kim 등[13]과 Lee 등[14]이 조사한 결과보다 다소 높았으나 B 초등학교나 교외지역의 C 초등학교는 약간 낮았다. 그러나 2000년 조사 때는 울산지역 초등학교의 기하평균치가 Lee 등[14]의 부산지역 어린이 혈중 연 농도와 비슷하였으며 Kim 등[13]의 대구 어린이보다는 높았다. 따라서 검사가 표준화된 방법에 의하여 진행되었다고 가정하면 2000년의 울산은 부산지역의 1995년 연노출 수준과 비슷할 것으로 추정된다. 또한 울산지역의 공단지역 인근 어린이들과 교외지역의 연노출 정도는 해가 갈수록 비슷한 것으로 추정되는데 공단지역이 각종 산업체에서 나오는 분진과 공단을 출입하는 자동차 등이 오염원으로 추정되는데 비해, 교외지역의 경우 연 배출 산업장이 없는 것을 고려하면 공단에서 배출된 연이 대기 중에 확산

되어 울산 전 지역에 고르게 영향을 미치거나, 최근 급격한 인구 증가와 신형 온천 위락시설이 많이 들어서는 C 초등학교 인근의 교통량 증가도 한 원인일 것으로 추정된다. 울산시와 환경부의 대기자동차 측정망 자료에서는 대기 중 연 농도가 1998년 최고를 보인 후 감소하는데 반해 본 연구에서의 어린이 혈중 연 농도는 A 초등학교를 제외하고는 대체로 매년 증가하는 경향을 보였다. 이러한 원인을 구명하기 위하여 향후 조사 초등학교 인근에서 기중 (중)금속농도 측정 등의 직접 노출원 조사를 병행한 추가적 연구가 필요할 것으로 생각된다.

공단 주변의 어린이를 대상으로 한 비소 측정 연구로는 Baker 등[18]이 구리제련소 주변 어린이를 대상으로 조사한 연구에서는 요중 기하평균 비소 농도를 18.7 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 보고하였고, Bencko 등[19]이 석탄화력발전소 주변 어린이를 대상으로 조사한 요중 비소의 산술평균 성적은 18.9~25.3 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이고 비소 비노출 어린

이를 대상으로 조사한 요중 산술평균 성적은 11.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 라 보고하였다. 또한 Morse 등[20]이 제련소 주위의 어린이를 대상으로 조사한 결과 요중 비소 산술평균은 0.059 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 나 비소 비노출 어린이는 요중 비소 산술평균은 0.018 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 로 서로 심한 차이를 보였다는 보고를 한 바 있다. DiazBarriga 등[34]도 제련소 주변 어린이를 대상으로 요중 비소를 측정하여 기하평균으로 191.1 $\mu\text{g}/\text{g Cr}$ 이라 보고하였으며, 구리 제련소, 구리 및 석탄광 인근 5~14세 어린이를 대상으로 요중 비소를 측정한 Trepka 등[21]은 요중 비소가 기하평균으로 5.1 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이라 보고하였다. 폐제련소 주변 어린이를 대상으로 조사한 Hwang 등[22]은 요중 비소의 기하평균이 8.6 $\mu\text{g}/\text{l}$ 라 보고하였다. 비소 농도가 높은 음용수를 먹는 어린이를 대상으로 한 Kurtio 등[35]의 연구에서는 요중 비소의 기하평균이 0.058 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 이나 같은 연구의 대조군은 0.005 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 로서 심한 차이를 보였다는 보고를 한 바 있다.

본 연구의 요중 비소농도는 1997년 조사 때는 공단지역 인근 초등학교가 높았으나 1999년 조사 때는 교외지역의 C 초등학교가 오히려 높아졌다가 2000년 조사에서는 공단지역의 A 초등학교는 교외지역의 C 초등학교보다 높으나 B 초등학교는 C 초등학교보다 낮았다. 이는 요중 비소농도는 대기 중의 비소뿐만 아니라 음용수나 해산물 등의 식품을 통한 흡입에도 영향을 크게 받기 때문인 것으로 추정되었으나, 요중 비소 농도는 지역구분 없이 대체로 매년 증가되는 경향을 보였다. 향후 음용수나 해산물 등의 식품을 통한 노출량을 통제할 추가적 연구가 필요한 것으로 사료된다. 요중 비소 농도는 매년 증가되어 2000년 조사에서는 Trepka 등[21]과 Hwang 등[22]의 공단 인근 어린이 조사 결과와 점차 높거나 비슷한 결과였다. 이는 여러 경로를 통한 비소 노출량이 상기 연구지역 어린이들과 비슷하거나 많아 그런 것으로 추정되나 전술한 바와 같이 식품을 통한 노출량을 통제할 추가적 연구가 있어야 확실한 비교가

가능할 것으로 판단된다.

어린이들을 대상으로 한 요중 카드뮴 측정 연구는 매우 드문데, Kowal 등[23]이 비직업적으로 카드뮴에 노출되는 성인에서의 요중 카드뮴 농도는 0.59~0.77 $\mu\text{g/l}$ 로 보고 한 바 있고, Barltrop과 Strehlow[24]는 아연광산 주변 주민들을 대상으로 조사한 결과 요중 카드뮴의 산술평균이 0.68 $\mu\text{g/g Cr}$ 이고 대조군은 0.60 $\mu\text{g/g Cr}$ 이라 보고 하였다.

또한 일반 주민들을 조사한 Staessen 등[25]은 요중 카드뮴이 0.84~1.42 $\mu\text{g}/24 \text{ hour}$ 로 보고하였으며, 국내에서도 Hwang 등[36]이 중금속 노출력이 없는 31~49세 여성들을 대상으로 조사한 결과 요중 카드뮴의 산술평균이 0.003±0.002 $\mu\text{g/ml}$ 라고 보고한 바 있다. Kido 등[26]은 환경에서 카드뮴에 노출되는 주민들을 대상으로 조사하여 요중 카드뮴이 4.2~4.8 $\mu\text{g/g Cr}$ 이라 보고하였고, Kawada 등[27]은 1.67~2.95 $\mu\text{g/g Cr}$ 이라 보고하였다.

본 연구의 요중 카드뮴 농도는 다른 연구자들이 보고한 범위에 들었으나 공단 지역의 A 초등학교와 B 초등학교는 1999년에 일시 감소 후 증가되는 경향을, 교외 지역의 C 초등학교는 매년 증가되었다. 1999년 조사에서 교외지역의 C 초등학교가 공단지역 초등학교보다 높게 나타난 원인은 그 해에 한해 그 지역에 카드뮴 노출량이 갑작스럽게 증가한 것인지 분석시점 차이에 따른 기기적 요인인지는 확실히 알 수 없었으나, 전반적으로 울산 지역 초등학교 모두에서 여러 경로를 통한 카드뮴 노출량이 점차 증가되는 것으로 추정되며 울산시와 환경부와 대기자동측정망 자료에서도 카드뮴 농도는 1998년 최저치를 보인 후 점차 증가되는 것으로 나타나 비교적 대기환경 측정 자료와 일치하였다.

비록 아직까지 혈중 연, 요중 비소 및 카드뮴 농도가 미국의 질병관리 및 예방센터와 세계보건기구의 권고 기준치보다는 낮으나 그 농도가 점차 증가함은 여러 가지 경로를 통한 (중)금속 노출량이 매년 증가하는 것으로 추정되기 때문에 다

른 임상병리 검사와 의사의 진찰에서 특이한 건강장애를 보인 어린이가 없었다 하더라도 향후 지속적으로 이들 지역의 어린이에서 (중)금속 노출을 통한 생물학적 지표검사가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 첫째, 요중 (중)금속 농도 측정의 경우 일시뇨를 채집하여 1회 평가한 값으로 매년 추적조사의 성적으로 채택한 점이다. 그러나 일시뇨를 1회 평가한 값이라 하더라도 평가값이 대상자간에 random error로 나타나는 경우 평가값의 타당성에는 큰 문제가 없기 때문에 그 값은 어느 정도는 신뢰할 수 있을 것으로 생각된다. 둘째 조사 대상 어린이들이 거주하는 지역의 생활환경 중의 (중)금속 농도조사를 병행하지 못하여 중금속 노출원 구명과 노출량에 따른 혈중 연, 요중 비소, 카드뮴 농도 측정을 하지 못하였다. 향후 연구에서는 최소한 호흡기를 통한 (중)금속류의 노출량을 평가하기 위하여 대기 중의 연, 카드뮴, 비소 등 금속의 농도 조사를 하는 것이 필요한 것으로 생각된다. 셋째 음식물이나 음용수를 통한 (중)금속 흡입을 사전에 통제하지 못하여 이로 인한 영향이 일부 결과에 반영되었을 것으로 추정되었다. 이런 문제들은 향후 추가적 연구시 해결되어야 할 것으로 생각된다. 넷째 3년 간의 변화로 전반적 변화의 추이를 파악하기는 어려운 점이 있는데 이는 추후 지속적 연구로 해결될 것으로 생각된다.

결론

울산시의 석유화학 공단 인근 초등학교 생들을 대상으로 연, 비소, 카드뮴 노출에 따른 건강장애를 예측하고 평가하기 위한 기초 자료를 확보하기 위하여, 동일지역의 동일 연령층을 대상으로 3년간 혈중 연, 요중 비소 및 카드뮴 농도를 조사하였다. 혈중 연의 경우 공단지역 A 초등학교는 1997년 이후 감소하다가 다시 증가하였으며, 공단지역 B 초등학교와 교외지역 C 초등학교는 매년 증가하였다. 요중 비소의 경우는 A 초등학교는 1997년 이후 감소 후 증가하였으며, B 초등학교와 C

초등학교는 매년 증가하였다. 요중 카드뮴의 경우는 A 초등학교와 B 초등학교는 1997년 이후 감소 후 다시 증가하였으나 C 초등학교는 매년 증가하였다.

이상과 같은 결과로 볼 때 매년 (중)금속 노출에 따른 혈중 연, 요중 비소 및 카드뮴 등의 생물학적 지표 농도는 지역과 관계없이 매년 증가하며 또한 지역간 차이는 없어지는 것으로 판단되며 향후 대기 중의 연, 카드뮴, 비소 등 (중)금속의 농도 조사를 병행하면서 음식물이나 음용수를 통한 (중)금속 흡입을 사전에 통제할 추가적 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Needleman HL, Gastonis CA. Low-level lead exposure and the IQ of children: A meta analysis of modern studies. *JAMA* 1990; 263(5): 673-678
2. Needleman HL, Scell A, Bellinger D, et al. The long-term effect of exposure to low doses of lead in childhood: An 11 year follow-up report. *New Eng J Med* 1990; 322: 83-88
3. Centers for Disease Control and Prevention. Preventing Lead Poisoning in Young Children: A statement by the Centers for Disease Control. Atlanta, GA: Centers for Disease Control, 1985
4. Baghurst PA, McMichael AJ, Wigg NR, et al. Environmental exposure to lead and children's intelligence at the age of seven years. *New Eng J Med* 1992; 327(18): 1279-1284
5. Centers for Disease Control and Prevention. Preventing Lead Poisoning in Young Children. Atlanta, Centers for Disease Control, 1991
6. Davis JM, Svendsgaard DJ. Lead and child development. *Nature* 1987; 329: 297-300
7. Mushak P, Davis JM, Crocetti AF, et al. Prenatal and postnatal effects of low-level lead exposure: Integrated summary of a report to the US congress on childhood lead poisoning. *Environ Res* 1989; 50: 11-36
8. Schwartz J, Angle C, Pitcher H. Relationship between childhood blood lead levels and stature. *Pediatrics* 1986; 77(3): 281-288
9. Schwartz J, Otto D. Blood lead, hearing thresholds, and neurobehavioral devel-

- opment in children and youth. *Arch Environ Health* 1987; 42: 153-160
10. Schwartz J, Otto D. Lead and minor hearing impairment. *Arch Environ Health* 1991; 46: 300-305
 11. Weitzman M, Aschengrau A, Bellinger D, et al. Lead-contaminated soil abatement and urban children's blood levels. *JAMA* 1993; 269(13): 1647-1654
 12. Pirkle JL, Brody DJ, Gunter EW, et al. The decline in blood lead levels in the United States: The National Health and Nutrition Examination Surveys(NHANES). *JAMA* 1994; 272(4): 284-291
 13. Kim JW, Lee JJ, Kim CY, et al. Lead level in blood, scalp hair, and toenail of elementary school children. *Korean J Prev Med* 1995; 28(1): 73-84(Korean)
 14. Lee YH, Lee DH, Kim JH, et al. Blood lead level of children. *Korean J Occup Med* 1995; 7(1): 82-87(Korean)
 15. Yoo CI, Lee JH, Lee CR. Blood lead levels of children in Ulsan industrial area. *Korean J Prev Med* 1998; 31(2): 240-248(Korean)
 16. Jeong KC. A handbook of occupational poisoning. 1st ed. Seoul: Sinkwang Press Co., 1995(Korean)
 17. Lee CR, Yoo CI, Lee JH, et al. Urinary levels of arsenic, cadmium, and zinc of children in Ulsan industrial area. *Korean J Prev Med* 1999; 32(1): 1-8(Korean)
 18. Baker EL, Hayes CG, Landrigan PJ, et al. A nation-wide survey of heavy metal absorption in children living near primary copper, lead, and zinc smelters. *Am J Epidemiol* 1977; 106: 261-273
 19. Bencko V, Chladek V, Pihrt J. Health aspects of burning coal with a high arsenic content. II. hearing changes in exposed children. *Environ Res* 1977; 13: 386-395
 20. Morse DL, Harrington JM, Housworth J, et al. Arsenic exposure in multiple environmental media in children near a smelter. *Clin Toxicol* 1979; 14: 389-399
 21. Trepka MJ, Heinrich J, Krause C, Schulz C, Wjst M, Popescu M, Wichmann HE. Arsenic burden among children in industrial areas of eastern Germany. *Sci Total Environ* 1996; 180(2): 95-105
 22. Hwang YH, Bornschein RL, Grote J, et al. Environmental arsenic exposure of children around a former copper smelter site. *Environ Res* 1997; 72(1): 72-81.
 23. Kowal NE, Johnson DE, Kraemer DF, et al. Normal levels of cadmium in diet, urine, blood, and tissues of inhabitants of the United States. *J Toxicol Environ Health* 1979; 5: 995-1014
 24. Barltrop D, Strehlow CD. Cadmium and health in Shipham. *Lancet* 1982; 2: 1394-1395
 25. Staessen J, Bulpitt CJ, Roels H, et al. Urinary cadmium and lead concentrations and their relation to blood pressure in a population with low exposure. *Br J Ind Med* 1984; 41(2): 241-248
 26. Kido T, Shaikh ZA, Kito H, et al. Dose-response relationship between urinary cadmium and metallothionein in a Japanese population environmentally exposed to cadmium. *Toxicology* 1991; 65(3): 325-332
 27. Kawada T, Shinmyo RR, Suzuki S. Urinary cadmium and N-acetyl-beta-D-glucosaminidase excretion of inhabitants living in a cadmium-polluted area. *Int Arch Occup Environ Health* 1992; 63(8): 541-546
 28. Ulsan-metropolitan city. 2000 Whitebook on the environment of Ulsan. Ulsan: Samjeong Press Co., 2000(Korean)
 29. Whelton A, Watson AJ, Rock RC. Nitrogen metabolites and renal function. In: Burtis CA, Ashwood ER, eds. Tietz textbook of clinical chemistry, 2nd edition. Philadelphia: Saunders, 1994
 30. Kim JH, Moon JK, Park GW, et al. Lead levels in maternal and umbilical cord blood. *Korean J Occup Med* 1996; 8(3): 414-422(Korean)
 31. Yang JS, Kang SK, Park IJ, Rhee KY, Moon YH, Sohn DH. Lead concentrations in blood among the general population of Korea. *Int Arch Occup Environ Health* 1996; 68: 199-202
 32. Park JD, Jeong KC. Blood lead level in Korean young persons. *J Joongang Med Col* 1985; 10(4): 353-361(Korean)
 33. Rifai N, Cohen G, Wolf M. Incidence of lead poisoning in young children from inner city, suburban, and rural communities. *Ther Drug Monit* 1993; 15(2): 71-74
 34. DiazBarriga F, Santos MA, Mejia JJ, et al. Arsenic and cadmium exposure in children living near a smelter complex in San Luis Potosi Mexico. *Environ Res* 1993; 62(2): 242-250
 35. Kurttio P, Komulainen H, Hakala E, et al. Urinary excretion of arsenic species after exposure to arsenic present in drinking water. *Arch Environ Contam Toxicol* 1998; 34(3): 297-305
 36. Hwang ID, Ki NS, Lee JH, et al. Heavy metal concentrations and their interrelationships in women's blood and urine in small towns. *Korean J Prev Med* 1987; 20(1): 49-55(Korean)