

우리 나라 성인의 혈중 납 농도 분포 연구 - 공단지역 및 도시지역 거주 주민들을 대상으로 -

정 용, 양지연, 이지호, 황만식, 조성준

연세대학교 환경공해연구소

Determination of Blood Lead Levels in Adolescents in Korea

Yong Chung, Jiyeon Yang, Jiho Lee, Mansik Hwang and Seongjoon Jo

Institute for Environmental Research, Yonsei University

ABSTRACT

Lead (Pb) is ubiquitous in the urban environment and is a well-known toxic element. It may cause adverse health effects on hematopoietic system, peripheral and central nervous systems, kidney functions, and others. In recent decades, lead concentration in blood has been widely used one of indicators for lead exposure and risk evaluation.

In this study, we determined the blood-lead levels in general populations of Korea, and investigated the relationship among blood-lead levels, sociobehavioral factors, and lead concentrations in the contacted environments such as ambient air, drinking water, and foods.

The study subjects consisted of volunteers who had lived in the residential or industrial area in Korea. Information about gender, age, living area, occupation, smoking, heat system, and dietary habits, etc was collected using a self-reported questionnaires. The lead concentrations of environments were collected by literature search to the study area.

Participated subjects in industrial area were 726 and their blood-lead levels were 8.58 $\mu\text{g}/\text{dl}$ for males and 6.26 $\mu\text{g}/\text{dl}$ for female in average. The other subjects in residential area were 317 and their blood-lead levels were 4.58 $\mu\text{g}/\text{dl}$ for males and 3.49 $\mu\text{g}/\text{dl}$ for female in average. The distribution of blood-lead level in the industrial subjects was well fitted to the log-normal distribution and that in the residential subjects was well fitted to the normal distribution. Blood-lead levels in both area were affected by gender, smoking habit, age and residence duration except age in industrial area and residence duration in residential area. It was identified that 30% of blood-lead level was contributed from the inhalation of ambient air in the industrial area, and 8.4% of blood-lead level was from that in the residential area.

From this study, it would be suggested for the health risk assessment and management of lead pollution concerns in urban, industrial and rural areas.

서 론

지금까지 오염물질에 대한 환경노출평가(Envi-

ronmental Exposure Assessment)는 대기, 수질, 토양, 식품 등 각각의 환경단위 구성체에 대한 평가가 전부였다. 하지만 이러한 노출평가는 오염물질의 수용체(receptor)인 인체를 중심으로 환경오염을 보는 입장에서는 많은 한계를 드러내고 있다. 이 같은 한계를 해결해 줄 수 있는 방법은 인체에서 오염물질이나 그 대사체를 직접 측정(biolo-

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단 학술연구조성비로 지원되었음.

gical monitoring)하고, 이의 인체내 노출량을 직접적으로 평가(internal dose assessment)하는 것이다. 더욱이 인체 노출용량 산정시 환경중의 오염도에 의한 외적용량(external dose)의 이용보다는 생체 지표를 이용한 내적용량(internal dose)의 이용이 위해성 평가의 결과에서 나타날 수 있는 불확실성을 줄일 수 있는 가장 좋은 방법으로 평가하고 있다.

환경오염물질 중 대표적인 중금속으로 잘 알려진 납은 비교적 연구가 활발히 진행되어져온 물질중 하나이다. 납은 주로 미세분진에 흡착되어 있기 때문에 인체 호흡기로 직접 노출되기도 하며, 상수원으로부터의 오염 및 토양 오염에 의해 먹는 물 및 식품을 통해서도 인체에 노출될 수 있는 오염물질이다. 다양한 환경 매체와의 접촉을 통해 인체 내로 흡수된 납은 주로 소변과 대변으로 배설되지만, 고농도로 노출되어 다량 체내에 흡수되면 인체의 여러 장기조직에 장해를 초래하게 된다. 미국 환경보호청에서는 랫트와 마우스에 대한 납의 발암성 실험에서 신장중양 발생률이 유의하게 증가하였고, 단기독성 연구결과에서도 유전자 독성이 관찰되었다는 자료를 바탕으로 납을 유력한 인체 발암물질, B2 그룹으로 분류하고 있다.

특히, 환경오염이 증가되면서 이로 인한 비직업성 노출 기회가 계속 증가됨으로 인해 중독증상을 유발시킬 수 있는 농도 이하의 저농도에서 장기간 노출로 인해 일어날 수 있는 건강장애에 대한 연구가 절실하다(McMichael과 Johnson, 1982; Morris 등, 1990). 납에 의한 인체 장해 가운데 조혈기능의 장애가 가장 현저하고 중요하며 이는 heme의 생합성에 관여하는 delta-aminolevulinic acid dehydratase (ALDA)와 ferrochelatase 효소 등의 작용이 납에 의해 억제됨으로써 결국에는 hemoglobin (Hb)의 생성이 감소되고 따라서 heme의 전구물질인 delta-aminolevulinic acid (ALA), coproporphyrin (CP), porphobilinogen 등의 혈중 농도와 뇨중 배설량이 증가하게 된다(John, 1980; Clayton, 1982). 그러므로 납 노출 및 납중독의 조기수단으로 혈중 납농도를 비롯한 혈액학적 검사 소견이 이용되고 있다. 특히, 혈중 납은 납에 대한 폭로로 인한 body burden과의 상관성을 나타내는 좋은 지표로 이용된다(WHO, 1977).

우리 나라에서는 1980년대 이후 납 노출 근로자의 혈중 납 농도에 대한 연구가 시작되었으며, 1980년대 후반에는 일부 건강한 일반인들에 대한 연구가 이루어진 바 있으나, 지역특성에 따른 거주 주민들의 혈중 납 분포와 이에 미치는 영향 요인에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 대기, 수질 및 토양 및 식품 등 다양한 환경 매체로부터 노출될 수 있는 납을 대상으로 도시 및 공단지역에 거주하는 일반인들의 혈중 납 농도를 평가하고, 이들의 혈중 납 농도에 영향을 미칠 수 있는 사회형태학적 요인 및 환경요인과의 관련성을 살펴보고자 한다.

연구 방법

1. 연구대상 및 시료채취방법

연구 대상자는 환경 중 납의 오염이 우려되는 공단지역 거주주민과 도시 특성을 잘 나타내는 교통혼잡 지역에 위치한 대학교에 다니고 있는 대학생으로 선정하였다. 연구 대상지역 일반인들의 혈중 납 농도를 평가하기 위해 공단지역에서는 740명(남자 246명, 여자 435명)과 도시지역 대학생들은 317명(남자 264명, 53명)을 대상으로 혈액을 채취하였다.

혈액은 항응고제인 EDTA가 첨가된 5ml 진공채혈관(vacuutainer, Beckton & Dickson)을 사용하여 정맥혈을 직접 채취하였다. 채취된 혈액은 진공채혈관을 세게 흔들어 혈액과 항응고제가 잘 섞이도록 한 후 분석 전까지 -70°C 에서 보관하였다.

2. 혈중 납의 정량 분석

항응고제가 첨가된 진공채혈관에 채혈된 혈액 0.2 ml를 취하여 희석용 Triton X-100 (0.04% Triton X-100와 0.2% $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 혼합용액) 용액으로 10배 희석하여 분석하였다. 분석기기는 시료자동주입기 (Auto-sampler, Shimadzu -ASC6000)가 부착된 탄소로 원자흡수분광광도계 (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer, Shimadzu -6501S)를 이용하여 비불꽃원자화(flameless) 방법으로 분석하였다. 또한 연속광원인 중수소 램프(deuterium arc lamp)를 사용하여 바탕선을 보정하였다. 시료주입량은 10 μl 이고, 모든 실험은 2회 반복 측정하되 C.V.값이 5%를 초과할 경우 3회까

Table 1. Optical condition for Pb in blood analysis

wavelength (nm)	Lamp current (mA)	Slit width (nm)	Mode
283.3	10	0.5	BGC-D2

지 측정하였으며, 기기분석 조건은 Table 1에 나타내었다. 탄소로의 온도 조건은 시료를 95°C에서 30초간 건조시키고 250~700°C까지 다단계로 온도를 상승시켜 회화시켰으며, 1800°C에서 2초간 원자화시켰다. 흡광도를 측정 한 후에는 2300°C에서 3초간 heat cleaning하도록 하였다. Purge gas로는 고순도 아르곤(argon: 99.999%)을 사용하였다.

본 연구에서는 혈액과 같이 시료의 매질이 복잡하여 흡사한 표준시료 용액을 제조하기가 어려울 때 매질에 의한 방해물을 제거하기 위해 사용하는 방법인 표준물질 첨가법(standard addition method)을 이용하여 검량선을 작성하였다.

이와 같이 확립된 분석조건 및 기기 조건의 정확성을 검증하기 위하여 미국 NIST (National Institute of Standard & Technology)에서 만들어진 표준참고물질(Standard Reference Material; 이하 SRM) 955a-1 ($5.01 \pm 0.09 \mu\text{g/dl}$), 955a-2 ($13.53 \pm 0.13 \mu\text{g/dl}$)를 분석하였다. SRM은 구입 후 사용할 때까지는 시료와 동일하게 -70°C에서 보관하였고, 분석하기 전 실온(22°C)에서 서서히 녹여서 사용하였다. 이후 전처리 과정이나 분석조건 및 기기조건은 시료와 동일한 상태에서 분석을 실시하였다. 분석결과 실제 분석값은 각각 SRM 955a-1이 $5.06 \mu\text{g/dl}$, SRM 955a-2가 $13.39 \mu\text{g/dl}$ 로 측정되어 실제 농도와 1% 이하의 차이를 보이는 것으로 평가되었다. 분석 방법의 재현성을 검증하기 위한 조제 혈액 시료의 회수율(Recovery rate) 시험에서도 평균 99%로 좋은 재현성을 나타내는 것으로 평가되었다.

3. 혈중 납 농도에 영향을 미치는 요인 평가

연구 대상자들의 혈중 납 농도에 영향을 미칠 수 있는 요인을 평가하기 위해 본 연구에서는 연구 대상자들의 사회행동학적 요인을 설문을 통해 조사하였다. 또한 환경연감이나 문헌조사를 통해 연구 대상 지역에서의 대기, 수질 등의 환경 중 납의 농도 자료를 조사하여 이들에 의한 영향도

평가하였다. 혈중 납에 영향을 미치는 변수들간의 통계적인 검정은 SAS 통계 프로그램을 이용하였다.

연구 결과

1. 연구 대상자들의 혈중 납 농도

연구 대상자들의 일반적인 특성을 Table 2에 나타내었다. 공단지역 연구 대상자들의 평균 연령은 58세이고, 주거지역 연구 대상자들은 20세이었다. 연구 대상지역에서의 거주기간은 공단지역 대상자들은 5년 이상이 63%로 가장 많았으며, 주거지역 대상자들은 1~5년 사이가 85%로 나타났다. 연구 대상자들의 흡연율은 평균 45% (공단지역 48%, 주거지역 41%)이었다. 연구 대상자들의 혈중 납 농도는 공단지역이 평균 $7.19 \mu\text{g/dl}$ 인 반면, 주거지역은 평균 $4.40 \mu\text{g/dl}$ 로 공단지역에 비해 낮게 측정되었다.

연구 대상자들의 혈중 납 농도의 상대뒀수분포를 Fig. 1에 나타냈다. 주거지역의 혈중 납 농도는 조사대상자의 99.4%가 $10 \mu\text{g/dl}$ 이하의 범위에 속하는 것으로 나타난 반면, 공단지역의 연구 대상자들은 86.1%가 $10 \mu\text{g/dl}$ 이하에 포함되었지만, $10 \sim 20 \mu\text{g/dl}$ 의 범위에 6.5%, 그리고, 인체에 유해

Table 2. Characterization of subjects in this study

	Industrial area	Residential area
Sex (persons)		
Male	291	264
Female	435	53
Age (years)		
Mean	58	20
(Range)	(7~89)	(18~28)
Smoking habit (persons)		
Yes	492	225
No	234	92
Residential duration (years)		
<1	39	32
1~5	231	269
>5	456	16
Pb concentration in blood (mg/dl)		
Mean	7.19	4.40
(Range)	(0.8~65.2)	(1.3~10.8)

영향을 미칠 가능성이 있는 20~60 µg/dl의 범위에 7.3%가 속해 있었으며, 근로자들의 납중독 판정기준 60 µg/dl(노동부, 1989)을 초과하는 경우도 0.1%나 되는 것으로 나타났다.

공단지역 연구 대상자들의 혈중 납 농도를 지수함수로 변환하여 정규분포에 대한 적합성 검증 결과, 평균 7.18 ± 7.90 µg/dl, 왜도(skewness) $\hat{f}_1 = 0.83$, 첨도(kurtosis) $\hat{f}_2 = 1.01$ 이었고, 정규분포곡선에 적합한 것으로 평가되었다. 따라서 공단지역 연구 대상자들의 혈중 납 농도는 지수-정규함수 분포(log-normal distribution)를 나타내었다(Fig. 2(a)). 주거지역 연구 대상자들의 혈중 납 농도 분포는 평균 4.40 ± 1.49 µg/dl, 왜도(skewness) $\hat{f}_1 =$

0.97, 첨도(kurtosis) $\hat{f}_2 = 1.95$ 이었고, 정규분포곡선에 적합한 것으로 평가되었다. 따라서 주거지역 연구 대상자들의 혈중 납 농도는 정규함수분포(normal distribution)를 나타내었다(Fig. 2(b)).

2. 혈중 납 농도에 미치는 영향 인자

1) 사회행동학적 요인

성별에 따른 차이를 보면 공단지역은 남성(291명)이 8.58 ± 9.20 µg/dl, 여성(435명)이 6.26 ± 6.76 µg/dl이고, 거주지역에서의 남성(264명)은 4.58 ± 1.50 µg/dl, 여성(53명)이 3.49 ± 1.06 µg/dl로 두 지역 모두 남성이 여성보다 통계적으로 유의하게 높은 혈중 납의 농도를 나타내었다. 또한 공단지

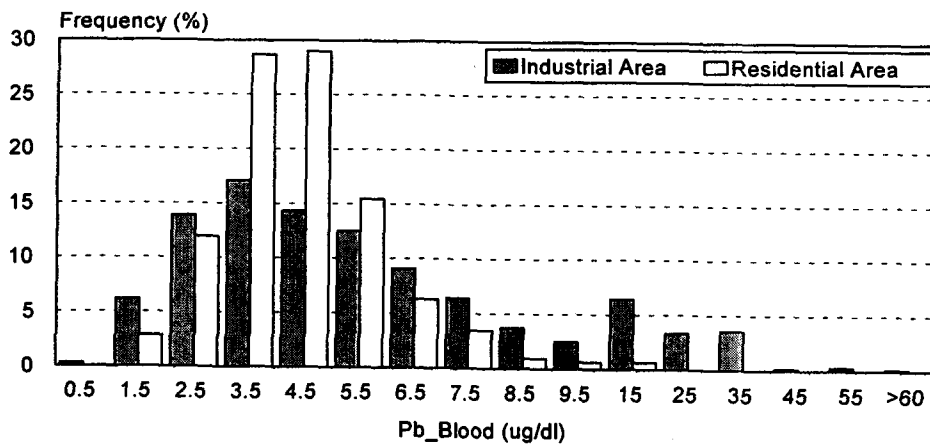


Fig. 1. Frequency histogram of lead in blood in different area.

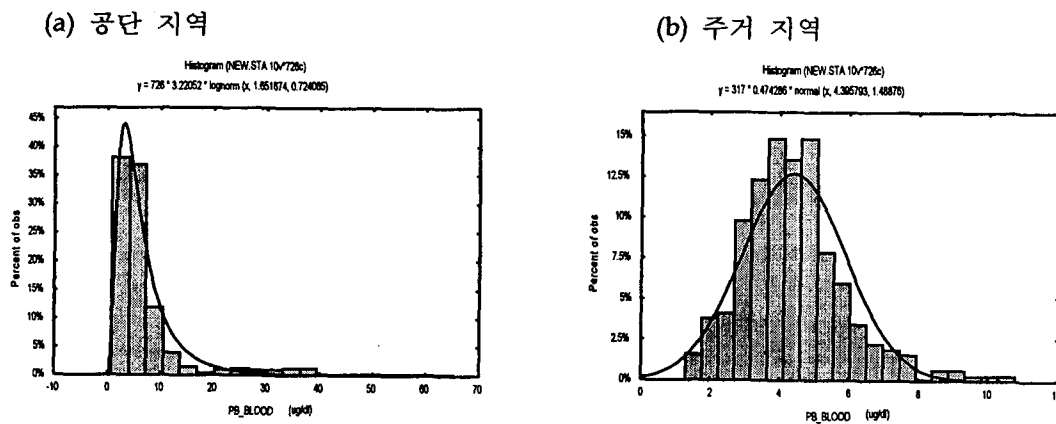


Fig. 2. Distribution of lead in blood in different area.

Table 3. Pb concentration in blood all subject by gender and smoking habits (Unit : mg/dl)

	Gender**		Smoking habit**	
	Male Mean ± SD (n=291)	Female Mean ± SD (n=435)	Smoker Mean ± SD (n=234)	Non-smoker Mean ± SD (n=492)
Industrial Area	8.58 ± 9.20	6.26 ± 6.76	8.17 ± 8.27	6.72 ± 7.69
Residential Area	4.58 ± 1.50	3.49 ± 1.06	4.86 ± 1.46	4.26 ± 1.46

** Statistically significant difference (p < 0.05)

역과 주거지역 연구 대상자들 모두에게서 비흡연자들보다 흡연자들의 혈중 납 농도가 통계적으로 유의하게 높은 것으로 분석되었다 (Table 3).

연구 대상자들의 연령에 따른 혈중 납 농도의 변화를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 공단지역의 경우 비흡연 남자의 경우만이 양의 상관성을 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 주거지역에서는 비흡연 남녀 모두 연령과 혈중 납 농도간의 양의 상관성을 보였으며, 특히 비흡연 남자의 경우에는 통계적으로 유의하게 나타났다.

두 지역에서의 거주 기간에 따른 연구 대상자들의 혈중 납은 공단지역에서 통계적으로 유의하게 증가하였다 (Fig. 5). 이에 비해 주거지역에서는

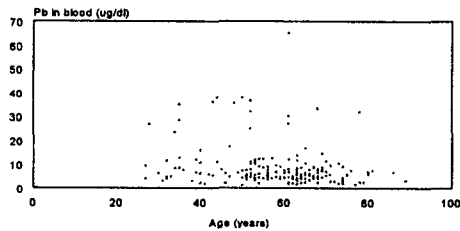
거주 기간에 따라 혈중 납 농도의 차이를 보이지 않았다.

지역에 따른 혈중 납 농도 차이를 평가하기 위해 연령과 흡연에 의한 영향을 배제시키기 위해 연구 대상 지역을 중심으로 흡연 유무와 연령을 짝지어 혈중 납 농도를 비교하였다. 특히, 공단지역에서는 혈중 납 농도가 거주기간에 의해 영향을 받는 것으로 나타났기 때문에 거주기간이 1년 이하와 1년 이상인 두 그룹으로 분류하여 비교하였다. 연구 대상자들 중 18세에서 28세 사이의 비흡연자들을 공단 1년 이하 거주, 공단 1년 초과 거주 및 주거지역 거주로 구분하여 이들의 남녀 혈중 납 농도 차이를 비교하였다.

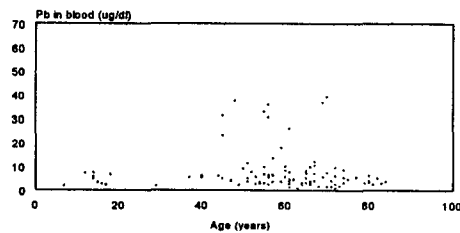
남녀 모두 공단 1년 초과 비흡연 거주자들의 혈중 납 농도가 공단 1년 이하 비흡연 거주자와 주거지역 비흡연 거주자들보다 유의하게 높은 농도를 나타내고 있었다. 공단 1년 이하 비흡연 거주자들과 주거지역 비흡연 거주자들의 혈중 납 농도를 거의 유사한 수준을 보이고 있었다 (Fig. 6). 따라서 공단 지역의 환경 오염으로 인해 거주 주민들의 혈중 납 농도가 영향을 받을 수 있을 가능성을 확인할 수 있었다.

이와 같은 사회행동학적인 변수들과 조사 대상자들의 혈중 납과의 상관성을 분석한 결과, 주거

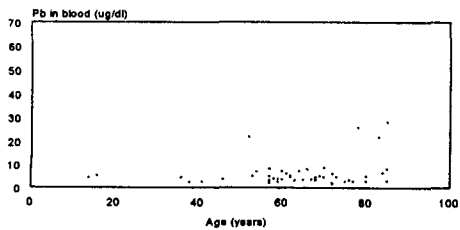
(a) 흡연 남자



(b) 비흡연 남자



(c) 흡연 여자



(d) 비흡연 여자

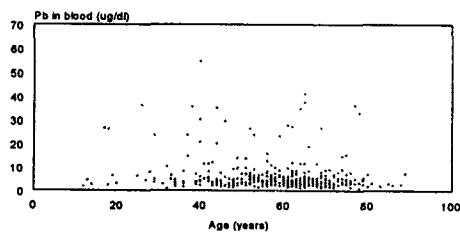


Fig. 3. Correlation of age and lead concentration in blood in industrial area.

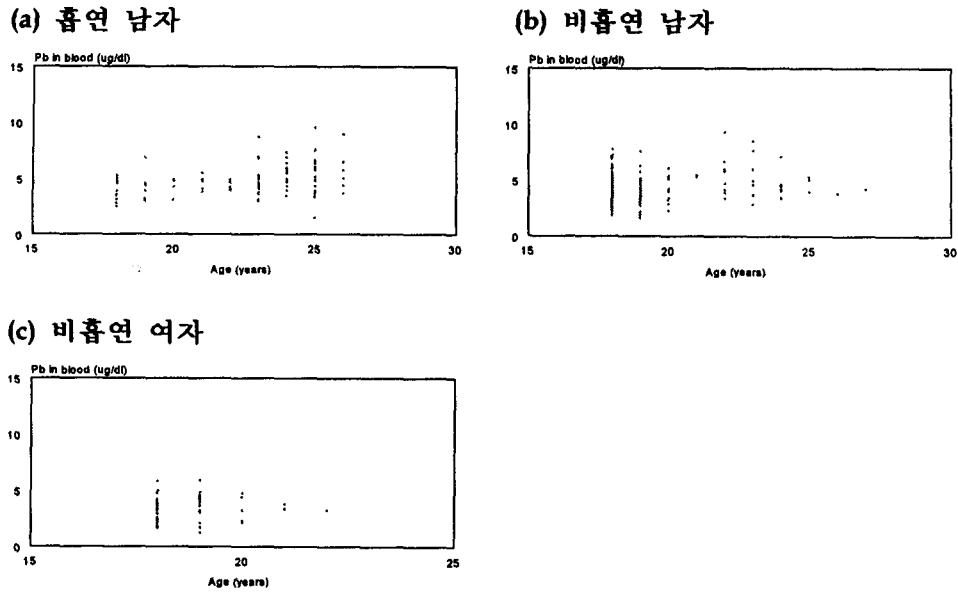


Fig. 4. Correlation of age and lead concentration in blood in residential area.

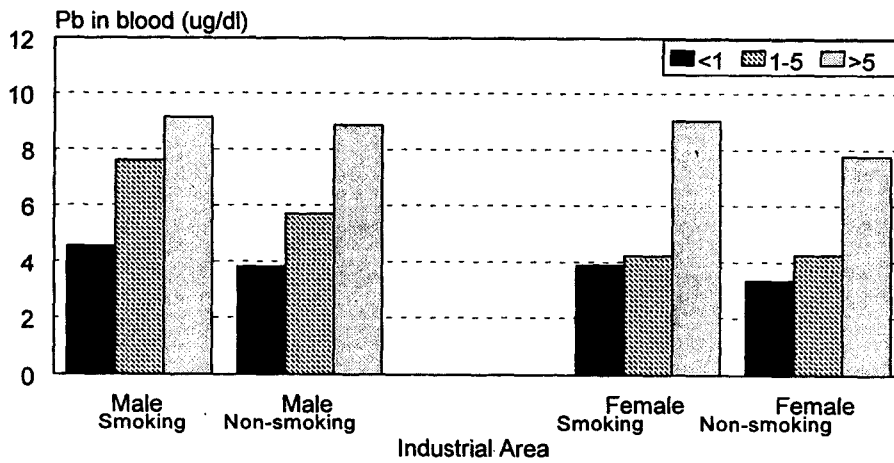


Fig. 5. Comparison of lead concentration to residential duration in blood in industrial area.

지역에서는 혈중 납의 농도가 성별, 흡연 유무, 연령의 변수와 상관성을 보인 반면,공단지역에서는 성별, 흡연유무 그리고 거주기간과 상관성을 보였다 (Table 4).

2) 환경매체의 납 오염도가 혈중 납 농도에 미치는 영향
연구 대상자들에게 영향을 미칠 수 있는 주요

Table 4. Correlation coefficients of several variables to blood lead levels

	Blood lead level	
	Industrial area	Residential area
Gender	0.14016**	0.27376**
Smoke habit	0.08643**	0.19832**
Age	0.16960	0.29507**
Residence duration	0.16953**	0.099445

**Statistically significant difference (p < 0.05)

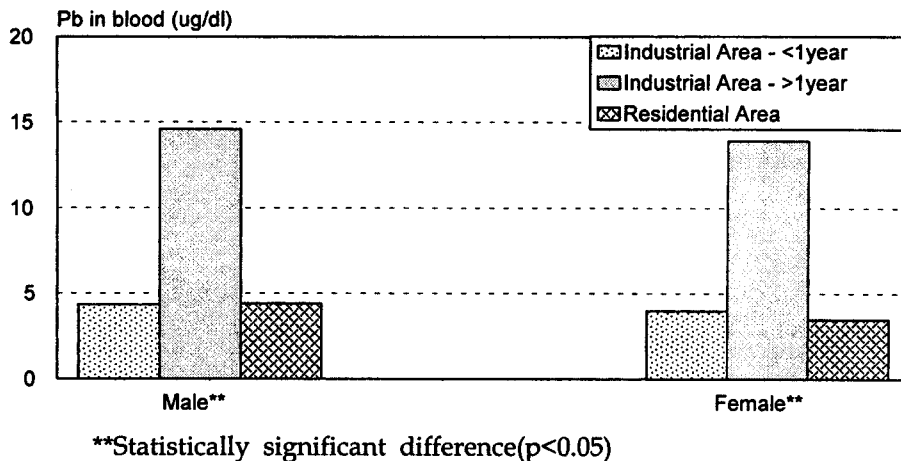


Fig. 6. Comparison of blood lead levels in non-smoker.

환경 매체는 대기, 먹는 물 및 식품의 3가지로 결정하였다. 연구 대상지역에서의 각 환경 매체별 오염도를 결정하기 위해 본 연구에서는 환경연감, 각 연구 대상지역에서 발행하는 지역 통계연보 및 국내 문헌을 조사하였다.

문헌 조사를 통해 연구 대상지역에서의 각 환경 매체별 오염도는 Table 5와 같이 결정하였다. 대기 중 납 농도는 주거지역보다 공단지역에서의 농도가 현저히 높게 조사되었다(환경연감, 1998). 일반 원수 중 납 농도도 주거지역보다 공단지역

이 다소 높았으나, 정수 과정을 거친 먹는 물에서는 주거지역과 공단지역 모두 불검출(검출한계 = 0.001 ppb)되는 것으로 평가되고 있다(연세대 환경공해연구소, 1996). 식품 중 납 오염도의 경우에는 지역간의 차이가 없는 것으로 가정하고 우리나라 농산물 및 어패류에서의 평균 오염도를 이용하였다(국립보건원보, 1991; 식품의약품안전본부원보, 1996). 식품 중에는 곡류나 채소류 등의 농산물에서보다는 어패류에서의 농도가 높은 것으로 조사되었다.

Table 5. Lead concentration in the ambient air, drinking water and foods

Environmental media	Industrial area	Residential area
Air (µg/m ³)	0.78	0.17
Water (µg/l)		
Stream water	0.10	0.03
Drinking water	<0.001	<0.001
Food (mg/kg)		
Cereals ¹⁾	0.22	0.22
Plants ²⁾	0.22	0.22
Fruits ³⁾	0.01	0.01
Fishes ⁴⁾	4.62	4.62
Shellfishes ⁵⁾	3.48	3.48

¹⁾ 2 classes(Rice, Barley)

²⁾ 9 classes(Chinese cabbage, Radish et al.)

³⁾ 4 classes(Apple, Watermelon et al.)

⁴⁾ 20 classes(Mackerel, Tuna et al.)

⁵⁾ 10 classes(Oyster, Mussel et al.)

조사된 환경 중 납 오염도를 이용하여 성인의 일일섭취량을 산출하였다. 납으로 오염된 환경으로 인한 일일노출량을 산출하기 위해 성인의 일일 호흡율은 20 m³, 호흡기로의 흡수율은 40%이고, 일일 음용수 섭취량은 2l, 위장관계로의 흡수율은 10%로 가정하였다. 식품의 경우에는 성인의 일일섭취량을 곡류 0.26 kg, 채소류 0.109 kg, 과일류 0.093 kg, 어류 0.011 kg 및 조개류 0.005 kg으로 결정하였으며, 흡수율은 먹는 물의 경우와 마찬가지로 10%로 가정하였다.

각 지역에서의 환경 중 납 오염으로 인한 성인의 일일섭취량은 공단지역은 20.95 µg으로, 주거지역은 16.10 µg으로 산출되었다(Table 6). 주거지역에서는 대기나 수질 오염에 의해 노출되는 납의 농도보다 음식을 통해 노출되는 경우가 91.6%로 가장 많은 것으로 평가되었으나, 반면 공단지역에서는 음식을 통한 경로 뿐만 아니라 대기오염으로

Table 6. Estimated of lead absorbed by adults from ambient air, drinking water and foods

Environmental media	Daily intake rate (mg/day) ¹⁾	
	Industrial area	Residential area
Air	6.20 (29.6%)	1.35 (8.4%)
Drinking water	0.0002 (0.0%)	0.0002 (0.0%)
Food	14.75 (70.4%)	14.75 (91.6%)
Total	20.95 (100%)	16.10 (100%)

¹⁾ The estimates are based on the following assumption :

Air - respiratory volume : 20 m³/day
respiratory absorption rate : 40%
Drinking water - ingestion volume : 2l/day
ingestion absorption rate : 10%
Food - intake volume : 0.477 kg/day
(Cereals 0.26, Plants 0.109, Fruits 0.093, Fishes 0.011, Shellfishes 0.005)
intake absorption rate : 10%

로 인한 노출도 그 기여도가 매우 큼을 알 수 있었다. Fig. 7에는 각 지역 주민들의 혈중 납 농도와 납의 일일노출량을 비교하여 도시하였다. 혈중 납과 환경오염으로 인한 일일인체노출량과의 정량적인 상관성을 제시할 수는 없었지만, 혈중 납 농도가 높은 공단지역에서 환경오염으로 인한 납의 일일노출량 역시 높았음을 알 수 있었다.

고 찰

납은 약 토양 1g당 10 µg내외 정도 함유되어 있는 중금속으로써, 납제련, 축전지제조 등의 산업장 뿐만 아니라 자동차 배기가스 등에서 배출되

고 있어 대기 오염의 주요 요인으로 지목되고 있다(Grandjean, 1992). 직업성 납노출 이외의 일반인의 혈중 납농도는 대기 중 납 오염정도 및 식품중 납 함유량과 밀접한 관계가 있으며, 흡연에 의한 영향도 있는 것으로 알려지고 있다(Pocock, 1983). 호흡기를 통한 납의 흡수율은 성인이 약 50% 정도이며, 소화기를 통한 섭취율은 성인이 약 5~10%, 소아의 경우에는 소화기의 흡수율이 약간 높기 때문에 약 30~50% 가량으로 알려져 있다(Duggan, 1983).

대기중의 납은 폐를 통해 체내로 유입되며, 일반적으로 대기중 농도가 3 µg/m³ 이하의 수준에서 성인은 대기농도 1 µg/m³의 변화에 의해 혈중 납 농도는 1~2 µg/dl의 수준에서 변화된다고 한다(Nriagu, 1978). 혈중 납 농도에 따른 인체 영향은 성인에게서 혈중 납 농도 80 µg/dl의 수준에서 심한 빈혈이 나타나며, 남자 20 µg/dl, 여자 15~20 µg/dl에서는 erythrocyte protoporphyrin 수치가 증가된다. 혈중 납 농도가 40~60 µg/dl인 납노출 근로자에서 신경학 및 신경정신학적 영향이 발견되기도 하였다(WHO, 1987). 어린이에게서는 혈중 납 농도 70 µg/dl의 수준에서 빈혈이 나타나고, 25 µg/dl 수준에서는 헤모글로빈 환원이 발견된다. 또한, 어린이의 혈중 납 농도가 15~20 µg/dl일 때는 erythrocyte protoporphyrin이 증가되며, 신경학적 영향은 20~50 µg/dl의 수준에서 나타난다(Roels 등, 1975; Piotrowski & O'Brien, 1980; Piomelli 등, 1982; WHO, 1987).

Table 7에는 혈중 납 농도에 따른 인체 영향과

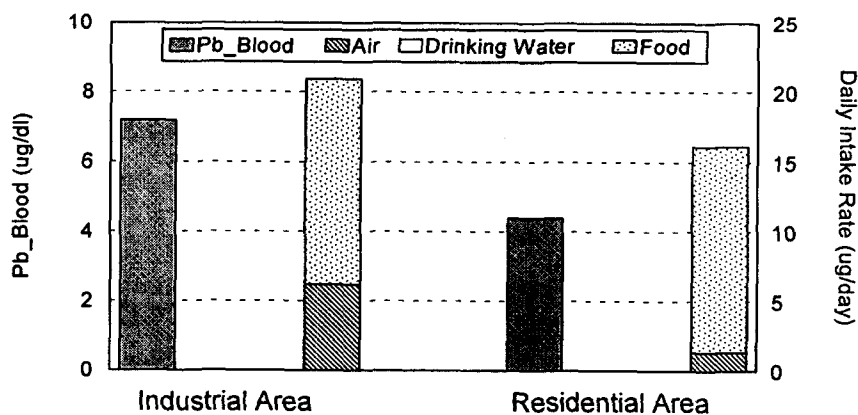


Fig. 7. Comparison of blood lead level and daily intake rate by environmental media in the different area.

Table 7. Summary of lead induced health effects in adults

Blood lead level ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	< 10	10~20	20~40	40~60	> 60
Haem synthesis & Haematological effect	ALAD inhibition	Erythrocyte protoporphyrin elevation in female	Erythrocyte protoporphyrin elevation in male	Increased urinary ALA and elevated coproporphyrin Reduced haemoglobin production	Frank anaemia
Effects on nervous system			Peripheral nerve dysfunction	Overt subencephalopathic neurological symptoms	Encephalopathic signs and symptoms
Industrial area	86.1%	6.5%	6.9%	0.4%	0.1%
Residential area	99.4%	0.6%	0%	0%	0%

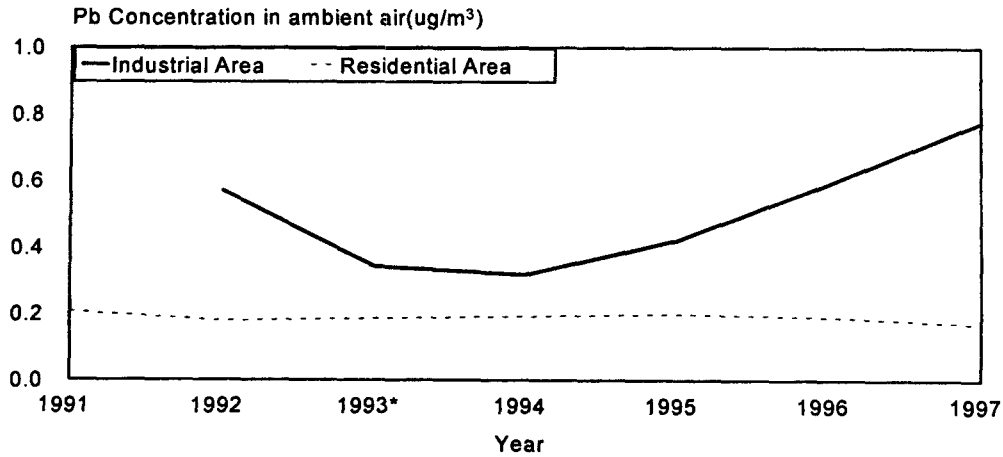
본 연구 대상자들의 혈중 납 농도 분포를 짚어 나타내 보았다. 공단지역 주민들의 경우, 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 초과율이 14%나 되어 이로 인한 인체 유해 영향이 유발될 수 있음을 시사하고 있었다.

환경 중 납 노출로 인한 인체 노출 및 유해영향 정도를 파악하기 위한 가장 유효한 생물학적 지표로서 혈중 납 농도 측정이 많이 연구되고 있다 (Hernberg, 1979; Waldron, 1971). 이러한 혈중 납 농도는 연령, 체내 단백질, 비타민, 음주, 칼슘과 인, 타금속과의 상승작용, 타질환 유무 등에 따라 다르다고 하며, 연령에 대해서는 소아와 성인간의 차이 외에는 뚜렷한 관련성은 없는 것으로 한다 (신해림과 김준연, 1986). 유정식 (1968)과 김인영 (1976), 김정만 등 (1984)의 연구에서는 연령에 따른 혈중 납의 차이가 없는 것으로 나타난 반면, 김동일 등 (1992)은 연령에 의해 영향을 받는 것으로 발표하고 있다. 성별에 대해서는 Clayton 등 (1982)은 여자가 남자보다 납에 대한 감수성이 높다고 한 반면, 박정덕 등 (1985), 김동일 등 (1992), Kubata 등 (1968)은 남자가 더 민감하다고 하였으며, 김인영 (1976), 김정만 등 (1984), 김준연 등 (1985)은 성별에 영향을 받지 않는다고 하고 있다. 본 연구에서는 주거지역의 비흡연 남자의 경우에만 연령과 혈중 납간에 통계적으로 유의하게 나타났으며, 성별의 경우에는 공단 및 주거지역 모두에 있어서 남자가 여자보다 높은 농도를 보이고 있었다.

혈중 납 농도는 연령과 성별 뿐만 아니라 주거지역에 의해서도 크게 영향받는 것으로 알려져 있으며, 지역간의 차이는 대상 지역의 대기 중 납

오염도에 의한 것으로 보고되고 있다 (임정규 등, 1987; 김동일 등, 1992). Drossos 등 (1982)은 그리스 도시지역 주민들의 혈중 납 농도가 교외지역 주민들보다 유의하게 높다고 하며, 이집트에서도 도시지역 주민들이 농촌지역 주민들보다 높은 것으로 보고된 바 있다 (Watanabe 등, 1985). 이러한 지역간의 차이는 대가 중 납 농도에 의한 영향일 것으로 추정하고 있다. 본 연구에서도 대기 중 납 오염원이 있는 공단지역 주민들의 혈중 납 농도가 일반 도시지역 주민들보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 특히, 두 지역의 비흡연자들을 연령과 성별로 짚어 비교한 결과, 공단지역 거주기간이 1년 이하의 남 (4.34 $\mu\text{g}/\text{dl}$) 녀 (3.99 $\mu\text{g}/\text{dl}$)는 주거지역의 남 (4.42 $\mu\text{g}/\text{dl}$) 녀 (3.50 $\mu\text{g}/\text{dl}$)와 유사한 수준으로 나타난 반면, 공단지역 거주기간이 1년을 초과하는 경우에는 남자가 14.60 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 여자는 13.93 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 평가되어 주거지역의 경우보다 유의하게 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 지역적인 차이에 영향을 미칠 수 있는 주원인으로서 본 연구에서도 연구 대상지역의 대기 중 납 농도를 꼽고 있다. Fig. 8에는 연구 대상 지역의 대기 중 납 오염도 변화 추이를 나타내었다. 납의 대기 오염도 역시 공단지역이 주거지역에 비해 높은 경향을 보이고 있다. 특히, 주거지역의 경우 대기 중 납의 연평균 오염도가 지속적인 감소 경향을 보인 반면, 공단지역은 1994년까지는 감소 추세를 보이다가 1995년부터 다시 증가되고 있는 양상을 띄고 있다.

Perkins (1974)는 일반인의 일일 납 섭취량은 음식과 먹는 물에서 300 μg , 공기를 통해서 50 μg , 그



* 1993 : Prohibited using Pb-containing fuel
 Source : Environmental Statistical Yearbook, 1998, Korea

Fig. 8. Air-borne lead levels in study area.

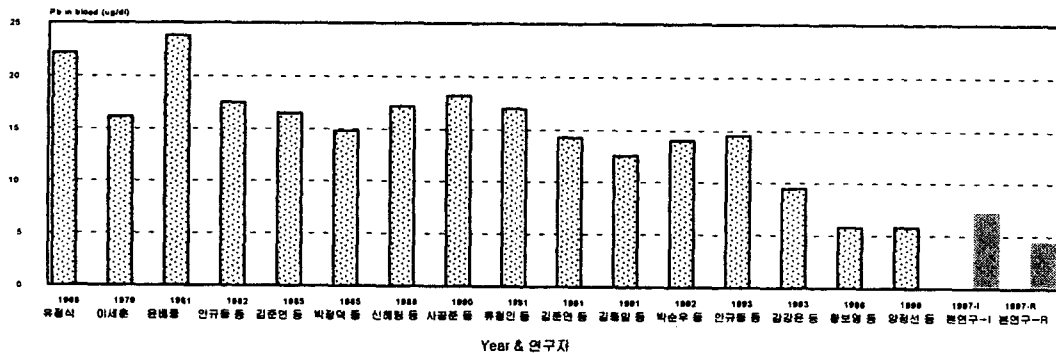
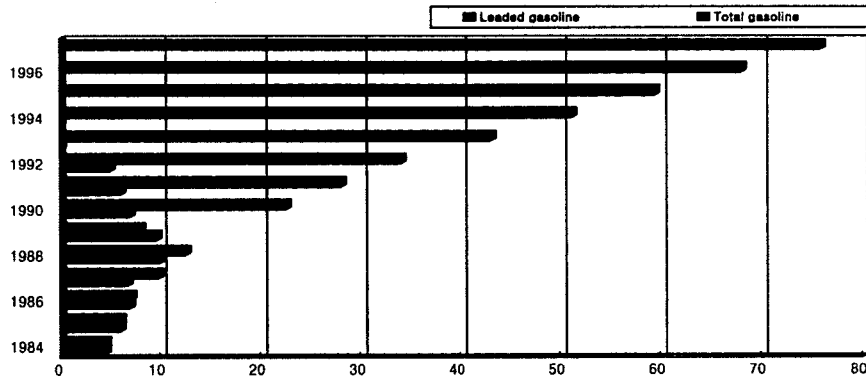


Fig. 9. Blood lead levels by year to adult in Korea.

리고 담배 1개피의 흡연을 통해 0.5µg 가량된다고 보고한 바 있으며, Pocock (1983)은 일반인들의 혈중 납 농도는 식품 섭취 및 대기 중의 납 오염 수준과 밀접한 관계가 있으며, 음료수와 흡연에 의해서도 영향을 받는다고 한다. Toshigazu (1983)는 160µg은 식품을 통해서, 2µg은 대기를 통해서 노출된다고 하였다. 미국 환경보호청에서는 납의 일일노출량의 약 40%가 호흡기로 노출된다고 한 바 있다 (US EPA, 1979). 본 연구에서의 환경 중 납 오염으로 인한 혈중 납 농도의 기여율 평가에서는 식품에 의한 영향이 70~90% 정도로 제일 크고, 먹는 물에 의한 영향은 무시할 수 있는 정

도로 나타났다. 대기 중 오염으로 인한 호흡노출의 경우, 공단지역과 같이 뚜렷한 오염원이 존재하고 있는 경우에는 약 30% 정도의 기여율을 나타내고 있었다.

미국 환경보호청에서는 미국 성인의 98%가 혈중 납 농도가 20µg/dl 이하의 수준이라고 평가하고 있으며, 일본의 농촌지역에서의 혈중 납농도 바탕값은 4~6µg/dl로 평가하고 있다. 우리나라 성인의 혈중 납 농도는 1968년 20µg/dl을 상회하는 수준으로 평가된 이후 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며, 1990년대에 들어서는 15µg/dl 수준으로 평가되고 있으며, 1996년에 들



* Estimating value - British Billion Barrel (Millions)

Fig. 10. Annual variation of gasoline sales in Korea.

어서는 약 6 µg/dl의 수준으로 평가되고 있으며, 본 연구에서는 평균 7~4 µg/dl의 수준으로서 일본의 바탕값 수준과 유사한 정도로 조사되었다 (Fig. 9). 이렇게 우리 나라 성인의 혈중 납 농도가 감소하는 원인으로는 납의 대기 오염의 주 요인이었던 납 함유 가솔린 사용량의 감소에 기인된 것으로 사료된다. 우리 나라의 연간 휘발유 사용량을 Fig. 10에 나타내었는데 총 가솔린 사용량은 지속적으로 증가되고 있으나, 납 함유 가솔린의 사용량은 1988년까지는 증가 추세를 보였으나, 그 이후에는 급격히 감소되어 1993년 이후에는 전혀 사용하지 않는 것으로 추계되었다. 이러한 추세에 따라 산업장이나 폐광 등의 오염원이 없는 비오염원 지역에서의 대기중 납의 오염도는 감소하고 있는 것으로 평가되고 있으며, 이로 인해 과거 20여년 전에 비해 우리 나라 일반인들의 혈중 납 농도도 감소된 것으로 사료된다.

본 연구에서도 납의 대기 오염도가 높은 공단지역 거주주민의 혈중 납 수준이 도시지역 주민보다 높게 나타났으며, 특히, 공단지역 거주기간이 5년 이상되는 주민들의 혈중 납 평균 농도가 15 µg/dl에 근접하고 있어, 대기 중 납 농도가 혈중 납 농도에 미치는 영향이 클 것으로 사료된다.

결 론

다양한 환경 매체로부터 노출될 수 있는 납을 대상으로 일반인들의 혈중 납 농도를 평가하여

이들의 사회형태학적인 요인과의 관련성을 살펴 보기 위해 공단지역 거주주민 726명과 도시지역 거주주민 317명을 대상으로 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 공단지역 연구 대상자들의 혈중 납 농도는 평균 7.18±7.90 µg/dl로 지수-정규함수분포(log-normal distribution)에 적합한 것으로 평가되었다.
- 2) 주거지역 연구 대상자들의 혈중 납 농도 분포는 평균 4.40±1.49 µg/dl로 정규함수분포(normal distribution)에 적합한 것으로 평가되었다.
- 3) 두 지역 모두 남자 또는 흡연자의 혈중 납 농도가 여자 또는 비흡연자들보다 통계적으로 유의하게 높았으며, 주거지역의 비흡연 남자의 경우만을 제외하고는 연령별로는 유의한 차이는 없었다.
- 4) 공단지역의 경우, 거주 기간에 따른 혈중 납 농도가 통계적으로 유의하게 증가하였으나, 주거지역에서는 거주기간에 대해 차이를 보이지 않았다.
- 5) 지역에 따른 혈중 납 농도 차이를 평가하기 위해 연령과 흡연에 의한 영향을 배제시키고 비교한 결과, 남녀 모두 공단 1년 초과 비흡연 거주자들의 혈중 납 농도가 공단 1년 이하 비흡연 거주자와 주거지역 비흡연 거주자들보다 유의하게 높은 농도를 보였으며, 공단 1년 이하 비흡연 거주자들과 주거지역 비흡연 거주자들의 혈중 납 농도는 유사한 수준으로 나타났다.
- 6) 주거지역의 혈중 납 농도는 성별, 흡연 유무,

연령의 변수와 상관성을 보인 반면, 공단지역에서는 성별, 흡연유무 그리고 거주기간과 상관성을 보였다

7) 대기, 먹는 물 및 식품 등의 환경오염이 혈중 납 농도에 미치는 기여율을 평가한 결과, 납의 주요 오염원이 존재하고 있는 공단지역에서는 식품이 70.4%, 대기 29.6%인 반면, 주거지역에서는 식품이 91.6%, 대기가 8.4%인 것으로 나타났으며, 먹는 물로 인한 영향은 두 지역 모두에서 무시할 수 있는 것으로 평가되었다.

이상의 결과를 바탕으로 본 연구에서는 일반인의 혈중 납 농도에 영향을 미치는 요인으로서 성별, 연령 및 흡연 유무 등과 같은 개인적인 생활 습관 요인 뿐만 아니라 거주지역, 거주기간 그리고 거주지역의 환경매체에서의 납 오염 농도와 같은 환경적 요인에 의해서도 영향을 받는다는 것을 알 수 있었으며, 특히, 식품과 대기 중 납 오염도가 혈중 납 농도에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 김강윤, 김현욱. 정상인에서 혈중 연과 Zinc protoporphyrin과의 상관관계 및 HPLC와 Hematofluorometer로 측정된 Zinc protoporphyrin량의 비교. 한국산업위생학회지 1993; 3(2): 141-151
- 김길성 외. 식품중의 미량금속에 관한 조사 연구(일본 어패류 중 미량금속 함유량에 관하여). 국립보건원보 1991; 28(2): 354-365
- 김동일, 김용규, 김정만, 정갑열, 김준연, 장형심, 이영호, 최안홍. 건강한 일부 도시지역 주민의 혈 중 연 및 zinc protoporphyrin 농도. 예방의학지 1992; 25(3): 287-302
- 김인영. 정상 한국인의 요중 δ -aminolevulinic acid와 coproporphyrin 배설량. 카톨릭대학 의학부 논문집. 1976; 29(1): 217-222
- 김정만, 이광목. 연 폭로의 생물학적 지표로서 혈 중 zinc protoporphyrin치의 의의. 카톨릭대학 의학부 논문집 1984; 37(4): 939-951
- 김준연, 이채언, 전진호, 문덕환, 이명철, 김병수, 김용완. 연 취급 근로자들의 생화학적 검사에 관한 연구. 인체대 의학 1985; 6(3): 427-436
- 노동부. 근로자 특수건강 진단방법 및 직업병 관리 기준. 서울 노동부 1989
- 류철일, 조병만, 이지호, 황인경, 이수일, 김돈균. 연 취급 근로자들의 면역능의 변동에 관한 조사. 대한 산업의학회지 1991; 3(2): 135-144
- 박순우, 김두희. 저농도 혈중연과 혈장레닌활성도 및 혈압과의 관련성. 예방의학지 1991; 24(4): 516-530
- 박정덕, 정규철. 한국인 젊은이의 혈 중 연 농도. 중앙의대지 1985; 10(4): 353-361
- 사공준, 강복수, 정종학. 대구 지역 택시 기사들의 혈 중 연농도. 예방의학지 1990; 23(3): 255-261
- 신해림, 김준연. 연폭로 지표들의 정상치에 관한 연구. 예방의학지. 1986; 19(2): 167-176
- 안규동, 김영희. 무기연 폭로시 혈 중연과 뇨중 연의 변화. 한국의 산업의학 1982; 21(1): 11-15
- 안규동, 이성수, 이병국, 김두희. 연 폭로자에 있어서 신기능에 관련된 생물학적 지표 변화. 대한산업의학지 1993; 5(1): 58-75
- 연세대 환경공해연구소. 수질오염물질의 위해성 평가 및 관리기술. 환경부 1996
- 원경봉 등. 식품중의 미량금속에 관한 조사 연구(농산물 중의 미량금속 함유량에 관하여). 식품의약품안전본부연보 1996; 1: 58-70
- 유정식. 연 중독에 관한 연구. 공중보건잡지 1968; 5(2): 129-134
- 윤배중. 자동차공장 근로자 중 납땀공의 혈 중 카드뮴과 연의 함량 조사연구. 예방의학지 1981; 14(1): 111-116
- 이세훈, 이광목. Aminolevulinic acid 활성치 측정시 완충용액의 PH와 기질농도의 영향. 카톨릭대학의학부 논문집 1979; 32(1): 37-44
- 임정규, 문덕환, 이명철, 이채언, 배기택, 김용완, 김정균, 김준연, 김병수. 부산지역의 대기 중 중금속 오염농도에 관한 조사 연구. 환경과 공해 1987; 6:331-344
- 환경통계연감(Environmental statistics yearbook). 환경부; 1998
- Clayton GD, Clayton FE. Patty's industrial hygiene and toxicology 3rd ED. New york, John Wiley & sons 1982; 1687-1724
- Drossos CG, Mavroidis KTH, Michalodimitrakis PD, Salamalikis LX, Gounaris AK, Varonos DD. Environmental lead pollutant in Greece. Am Ind Hyg Assoc J 1982; 43: 796-799
- Duggan, MJ. Contribution of lead in dust to children's blood lead. Environmental health perspective 1983; 50: 371-381
- Grandjean P. Health significance of metals. Public Health & Preventive Medicine 13th Ed, Prentice-hall International Inc 1992; 389-392
- Hernberg, S. & Nikkanen, J. Enzyme inhibition by lead under normal urban conditions. Lancet 1970; 1: 63-64

- McMichael AJ, Johnson HM. Long-term mortality profile of heavy-exposed lead smelter workers. *J Occup Med* 1982; 24(5): 375-378
- Morris C, McCarron DA, Bennett WM. Low-level lead exposure, blood pressure, and calcium metabolism. *Am J Kid Dis* 1990; XV(6): 568-574
- Nriagu JO. Lead in the atmosphere. In: Nriagu JO ed. *The biogeochemistry of lead in the environment*. Amsterdam, Elsevier-North Holland 1978; Part A: 137-184.
- Perkins HC. *Air pollution*. New York, McGraw Hill 1974; 354-355
- Piomelli, S. et al. Threshold for lead damage to heme synthesis in urban children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 1982; 79: 3335-3339
- Piotrowski, J.K. & O' Brian, B.J. *Analysis of the effects of lead in tissues upon human health, using dose-response relationships*. London, University of London Monitoring and Assessment Research Center 1980; (MARC report NO. 17)
- Pocock SJ, Shaper AG, Walker M. Effect of tap water lead, water hardness, alcohol, and cigarette on blood concentration. *J of Epidemiology and community Health* 1983; 37: 1-7
- Roles, HA. et.al. Response of free erythrocyte porphyrin and urinary delta-aminolevulinic acid in men and woman moderately exposed to lead. *Internationales Archiv fur Arbeitsmedizin* 1975; 34: 97-108
- Toshikazu K. Lead content in Japan in the early 1980's with the Estimation of its daily intake. *Osaka City Medical Journal* 1983; 29(1): 15-41
- US EPA. *The health and environmental impacts of lead*. EPA 560/2-79-001 1979; 211
- Watanabe T, Fujita H, Koitumi A. Baseline level of blood lead concentration among Japanese farmers. *Arch Env Health* 1985; 40(3): 170-176
- WHO. *Air Quality Guidelines for Europe*. WHO Regional Publications, European Series No.23; 1987
- World Health Organization. *Lead*. Geneva (Environmental Health Criteria, No 3) 1977
- Yang JS, Kang SK, Park IJ, Rhee KY, Moon YH, Sohn DH. Lead concentration in blood among the general population of Korea. *Int Arch Occup Environ Health* 1996; 68: 199-202