

건강한 일부 도시지역 주민의 혈중 연 및 zinc protoporphyrin 농도

동아대학교 의과대학 예방의학교실 및 산업의학연구소
김동일 · 김용규 · 김정만 · 정갑열 · 김준연

동아대학교 의과대학 소아과학 교실
장형심 · 이영호 · 최안홍

= Abstract =

The levels of blood lead and zinc protoporphyrin for healthy urban population in Korea

Dong Il Kim, Yong Kyu Kim, Jung Man Kim, Kap Yull Jung, Joon Youn Kim,

*Department of Preventive Medicine and The Industrial Medicine Research Institute
College of Medicine, Dong-A University*

Hyung Shim Chang, Young Ho Lee, Ahn Hong Choi

Department of Pediatrics, College of Medicine, Dong-A University

Hemoglobin(Hb), zinc protoporphyrin(ZPP) and blood lead(PbB) levels were determined for 1,851 blood samples collected from healthy urban population to establish reliable baselines for Hb, ZPP and PbB levels by age and sex. ZPP values were analyzed with a hematofluorometer and PbB determinations were concurrently carried out using flameless atomic absorption spectrophotometry.

The blood sampling period was about 6 months from May, 1991 and the summarized results were as follows :

1. The mean value of Hb in male and female were 14.55 ± 1.81 g/dl and 12.61 ± 1.18 g/dl respectively and there was statistically significant difference($p < 0.05$).
2. The mean value of ZPP in pre-schoolchildren was 37.49 ± 13.31 μ g/dl for male, 35.77 ± 11.85 μ g/dl for female and that of ZPP in after 7 years groups was 31.91 ± 8.23 μ g/dl for male, 30.11 ± 9.11 μ g/dl for female and there was statistically significant difference($p < 0.05$).
3. The mean value of PbB in pre-schoolchildren was 25.10 ± 5.21 μ g/dl for male, 24.

45±4.18µg/dl for female and that of PbB in after 7 years groups was 24.28±3.00µg/dl for male, 21.99±5.05µg/dl for female and there was statistically significant difference(p<0.05).

Key words : hemoglobin, blood lead, zinc protoporphyrin, pre-schoolchildren and after 7 years groups

I. 서 론

연중독은 아직도 세계 도처에서 발생되고 있는 중요한 직업성 질환중의 하나이긴 하지만 선진국의 경우 최근에 들어 많은 노력을 기울인 결과 산업장의 연중독 발생률은 현저히 감소되고 있으며, 나아가 일반국민들을 대상으로 체내 연농도를 낮추기 위해 대기 및 음식물의 연함량에 대한 규제를 강화하고 있다(Ikeda 등, 1989; Fanning, 1988; 이병국, 1987; Watanabe 등, 1985).

그러나 이러한 노력에도 불구하고 인구의 도시집중, 산업의 발전 및 교통기관의 급증에 따라 연취급 근로자 뿐만 아니라 일반인에 있어서도 연의 흡수량이 상당히 높을 것으로 생각된다. 도시인의 혈중 연농도는 그리이스의 도시거주민 27.03µg/dl(Drossor 등, 1982), 멕시코시 거주인 22µg/dl, 동경시 거주인 6µg/dl(Vater, 1982) 등으로 아주 다양한 치를 나타내는데 이는 조사대상지역의 대기오염 정도와 식생활습관 등의 차이에 기인된 것으로 알려져 있다(Stoking, 1981). 연은 비록 저농도의 체내 축적량에서도 지능 및 행동장애를 일으킬 수 있으며(Bellinger, 1991; Needleman, 1989; McMichael 등, 1988; Davis 등, 1987; Fulton 등, 1987; Neri 등, 1983), 태아의 기형, 성인의 고혈압, 청력손실 등을 유발할 수 있다는 보고들(정갑열, 1989; Sharp 등, 1989; Schwartz와 Otto, 1987; Parkinson 등, 1987; Pirkle 등, 1985)도 다수 있어 최근 일반 국민들을 대상으로 한 혈중 연농도의 감소 대책수립에 많은 힘을 기울이고 있다.

우리나라의 경우에도 연에 관한 연구는 오래전부터 많은 학자들에 의하여 이루어져 왔으나 그 대부분이 연취급 산업장의 근로자들을 대상으로 한 연구들(김창윤, 1990; 박정일, 1990; 김정만, 1986; 이병국, 1984)이었다. 일부 건강한 사람들을 대상으로 체내 연량의 정상치에 관한 연구보고들(신해림과 김준연,

1986; 김준연 등, 1986)도 있으나 이들 보고들도 역시 성별 및 연령별로 제한적이었으며, 국외의 경우에도 유아기부터 노인기까지 전연령층을 대상으로 한 연구는 극히 희소한 실정에 있다.

특히 소아에 있어 연의 침입경로는 성인의 경우와 달리 호흡기 이외에도 구강을 통한 소화관에서의 연의 흡수가 성인에 비해 훨씬 많이 일어날 뿐만 아니라 불충분한 영양공급은 연의 흡수효과를 높이는 원인이 되므로 학동기전 소아에 있어서도 연의 과다섭취가 중요한 환경보건 문제로 대두되고 있다(Bender 등, 1983; Pueschel, 1972). 미국의 경우, 정부에서는 소아들이 가정에서 연이 포함된 페인트가 칠해진 가구, 벽면, 마루 바닥의 페인트를 섭취함으로써 체내 연농도가 높은 것을 인지하고 1989년부터 현재에 이르기까지 광범위하게 조사하고 있으며 노후된 가옥 뿐만 아니라 음료수, 음식중의 연함량에 관해서도 규제를 강화하고 있다(Zylke, 1991; Martin, 1991). 그러나 우리나라의 경우에는 이에 관한 법적인 규제조치가 불충분한 것은 물론이고 건강한 소아에 대한 체내 연축적량에 관한 연구도 전무한 실정에 있다.

체내 연축적량을 추정하기 위해 이용할 수 있는 생체시료의 종류에는 혈액, 요, 모발, 생체조직 등 여러 가지가 있으나 이들 각각은 가령 현상에 따른 생리적 반응정도에 많은 차이를 나타내므로 전연령층을 대상으로, 특히 다수의 영유아를 대상으로 할 경우에는 주로 소량의 혈액을 측정시료로 택할 수 밖에 없기 때문에 실제 이용할 수 있는 측정항목도 극히 제한적일 수 밖에 없다.

일반적으로 혈액을 시료로 하여 체내 연축적량을 추정하는데 사용할 수 있는 측정항목으로는 신뢰성이 높은 검사법으로 혈중 연농도를 들 수 있으며, 경제성이나 비용의 측면에서는 zinc protoporphyrin(이하 'ZPP'로 약함)치가 유용하다. 혈중 ZPP 치의 증가는 연폭로에 의해서도 영향을 받지만 철결핍성 빈혈인 경우에도 증가하므로 정상 ZPP 치의 설정에 있어서 혈

색소치의 측정은 반드시 이루어져야 한다. 연중독시 증가하는 ZPP는 연이 철도입효소 등을 억제시켜 free protoporphyrin 이 아연과 결합된 것으로서 1970 년대에 개발된 Hematofluorometer 로 정량할 수 있다 (Stokinger, 1982; Blumberg, 1977; Lamola 와 Yamane, 1974). Hematofluorometer 로 측정되는 ZPP 치는 만성 연중독의 좋은 지표로 이용될 뿐만 아니라 (Eisinger, 1978; Gravidjean, 1978) 그 결과를 즉시 알 수 있고, 시술이 간단하며 경제적이기 때문에 국외의 경우에는 혈액 채취가 까다로운 소아에 있어 철결핍성 빈혈의 집단검진 등에도 많이 이용되고 있으나 (Novel, 1989; Schiffman, 1981; Piomelli, 1976) 국내의 경우에는 소아의 혈중 연농도는 물론이고 성별, 연령별 혈중 ZPP 의 정상치도 아직 설정되어 있지 않은 실정이다.

이에 본 저자들은 도시에 거주하는 건강한 소아 및 성인을 대상으로 혈색소치, 혈중 ZPP 치 및 혈중 연

농도에 대한 성별, 연령별 기준치를 제시함으로써 일 반국민들의 건강관리 대책수립에 일조함은 물론 추후 연중독 및 철결핍성 빈혈 진단에 관련된 연구의 기초 자료로 제공하고자 본 연구를 시행하였다.

II. 조사대상 및 방법

1991년 5월부터 6개월간 직업적으로 연에 폭로된 기 왕력이 없는 건강한 남자 1,193명 및 여자 658명을 대상으로 혈색소치, 혈중 ZPP 치 및 혈중 연농도를 측정하였다.

조사대상중 3세까지는 건강상담이나 예방접종을 목적으로 모 대학병원 소아과를 찾은 어린이를 대상으로 하였으며 이들중 진찰결과 혈액질환과 관련된 어린이는 제외하였다. 4세 이후는 유아원, 유치원, 국민학교 및 중·고등학교 학생들을 대상으로, 성인은 채용신체 검사, 산업장 정기신체검사 대상자중 일반 사무직근로

Table 1. Distribution of 1,851 subjects by age group

Age group	Male(%)	Female(%)	Total(%)
0-	49(2.6)	35(1.9)	84(4.5)
1-	14(0.8)	18(1.0)	32(1.7)
2-	19(1.0)	15(0.8)	34(1.8)
3-	16(0.9)	10(0.5)	26(1.4)
4-	13(1.1)	18(2.7)	31(1.7)
5-	43(2.3)	49(2.6)	92(5.0)
6-	59(3.2)	59(3.2)	118(6.4)
7- 9	16(0.9)	12(0.6)	28(1.5)
10-14	22(1.2)	19(1.0)	41(2.2)
15-19	41(2.2)	13(0.7)	54(2.9)
20-24	12(0.6)	64(3.5)	76(4.1)
25-29	75(4.1)	50(2.8)	125(6.8)
30-34	127(6.9)	34(1.8)	161(8.7)
35-39	156(8.4)	57(3.1)	213(11.5)
40-44	135(7.3)	38(2.1)	173(9.4)
45-49	143(7.7)	51(2.8)	194(10.5)
50-54	98(5.3)	38(2.1)	136(7.3)
55-59	82(4.4)	26(1.4)	107(5.8)
60-64	47(2.5)	24(1.3)	71(3.8)
65-	25(1.4)	27(2.5)	52(2.8)
Total	1,193(64.5)	658(35.5)	1,851(100.0)

자 및 성인병검진을 목적으로 모 대학병원 건강관리과에 내원한 사람들을 대상으로 하였으며 이들중 현재 질병에 이환되어 있거나 본 연구의 결과에 영향을 미칠 수 있다고 생각되는 이환력을 지닌 사람들은 본 조사대상에서 제외하였다.

조사대상자들에 대한 연령별 구분은 혈색소치의 변화가 비교적 큰 7세 이전의 학동기전 어린이(이하 '학동기전 소아'로 약함)는 1세 간격으로, 이 이후의 연령층은 5세 간격으로 구분하였다. 이들의 성별·연령별 분포는 Table 1에서와 같이 전체 1,851명중 남자는 1,193명(64.5%), 여자는 658명(35.5%)이었으며, 연령별로는 35~39세군이 213명(11.5%)으로 가장 많았으며 26명(1.4%)으로 3세군이 가장 적었다(Table 1).

혈색소치는 자동혈구 계산기(Coulter Counter Model S plus II)를 이용하였으며, 혈중 ZPP 치는 420~423nm의 스펙트럼을 이용하여 혈중 erythrocyte protoporphyrin을 정량하는 hematofluorometer(Helena Laboratories, ProtoFluor Z)로 같은 조건에서 2회 반복 측정하여 평균값을 이용하였다(Parxons 등, 1989; Kaul 등, 1983; Balamut 등,

1982). 혈중 연농도는 graphite furnace를 갖춘 원자흡광기(Shimadzu, Model 670-G, Japan)를 이용하여 시료인 전혈을 계면활성제인 Triton X-100으로 전처리한 다음 파장 283.3nm, slit width 1.0nm에서 건조온도 150°C로 30초간, 회화온도 500°C로 20초간, 원자화온도 1,400°C로 3초간의 3단계를 걸쳐서 측정하였다.

결과의 처리 및 통계학적 검정은 SPSS PC+ 통계프로그램을 이용하여 산술평균, t-test, 상관관계 등을 구하였다.

III. 성 적

조사대상자들의 혈색소치는 남자가 14.55 ± 1.81 g/dl로 여자의 12.61 ± 1.18 g/dl보다 유의하게 높았다($p < 0.05$). 연령별로는 6세군을 제외하고는 14세까지는 여자가 남자에 비하여 약간 높은치를 나타내었으나 통계학적 유의성은 없었으며, 20세 이상군에서는 남자가 여자보다 유의하게 높았다($p < 0.05$) (Table 2, Fig. 1).

평균 혈색소치는 Table 3에서와 같이 남자의 경우



Fig. 1. Level of Hb on 1,851 subjects by age and sex

Table 2. Mean value of Hb on 1,851 subjects by age and sex

Age age	Hb(g/dl)		p-value
	Male Mean ± S. D.	Female Mean ± S. D.	
0-	11.35 ± 1.20	11.35 ± 1.20	0.92
1-	11.10 ± 1.32	12.00 ± 0.55	0.54
2-	11.63 ± 0.97	12.60 ± 0.47	0.21
3-	11.82 ± 0.78	12.47 ± 0.49	0.17
4-	11.73 ± 0.49	12.23 ± 0.70	0.13
5-	11.90 ± 0.88	12.13 ± 0.95	0.06
6-	12.11 ± 0.60	11.30 ± 1.03	0.94
7- 9	12.04 ± 0.79	12.15 ± 0.83	0.58
10-14	12.35 ± 0.60	12.39 ± 0.70	0.81
15-19	13.36 ± 1.42	12.67 ± 1.19	0.09
20-24	15.39 ± 1.46	13.08 ± 1.39	0.00
25-29	15.59 ± 1.10	12.54 ± 1.31	0.00
30-34	15.55 ± 1.01	12.97 ± 1.07	0.00
35-39	15.46 ± 1.04	12.65 ± 1.03	0.00
40-44	15.34 ± 1.02	12.88 ± 1.01	0.00
45-49	15.40 ± 1.18	12.87 ± 1.22	0.00
50-54	15.34 ± 1.02	13.14 ± 1.06	0.00
55-59	15.00 ± 1.52	12.98 ± 0.92	0.00
60-64	14.43 ± 1.25	13.05 ± 1.02	0.00
65-	13.96 ± 1.18	13.11 ± 0.85	0.01
Total	14.55 ± 1.81	12.61 ± 1.18	0.00
p-value	0.00		

학동기전 소아군이 11.75 ± 1.04g/dl로 7세 이상군의 15.11 ± 1.37g/dl보다 유의하게 낮았고(p < 0.05), 여자인 경우에도 학동기전 소아군이 11.97 ± 1.07g/dl로 7세의 이상군의 12.85 ± 1.14g/dl보다 유의하게 낮았다(p < 0.05). 학동기전 소아의 혈색소치 간에는 성별로 유의한 차이가 없었으나 7세 이상군에서는 남녀별 혈색소치 간에 유의한 차이가 있었다.

혈중 ZPP치 측정시 생길 수 있는 실험오차를 줄이기 위해 동일시료를 2회(ZPP₁ and ZPP₂) 반복하여 측정한 결과 그 상관계수(r)는 0.98(p < 0.05)로서 높은 재현성을 나타내었다(Fig. 2).

조사대상자들의 혈중 ZPP치는 32.54 ± 9.88μg/dl (95% 신뢰구간 32.09~32.99μg/dl)이었으며, 남자의 평균치는 32.72 ± 9.50μg/dl로 여자의 31.48 ± 10.15

μg/dl보다 높았으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(p > 0.05). 연령별로는 남자의 경우 0세군이 48.32 ± 12.60μg/dl로 가장 높았으며 다음으로 1세군, 2세군 및 3세군 등의 순으로서 각각 46.67 ± 12.05μg/dl, 43.34 ± 9.03μg/dl 및 43.29 ± 11.41μg/dl이었으며 6세군이 27.16 ± 7.74μg/dl로 가장 낮은 값을 나타내었다. 한편 여자의 경우에는 2세군이 46.07 ± 12.75μg/dl로 가장 높았으며 다음으로 0세군, 1세군 및 3세군 등의 순으로서 각각 43.45 ± 13.50μg/dl, 39.85 ± 11.20μg/dl 및 36.89 ± 14.08μg/dl이었으며 30~34세군이 27.57 ± 9.04μg/dl로 가장 낮은 값을 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

학동기전 소아의 평균 혈중 ZPP치는 Table 5에서와 같이 36.65 ± 12.63μg/dl로 7세 이상군의 31.

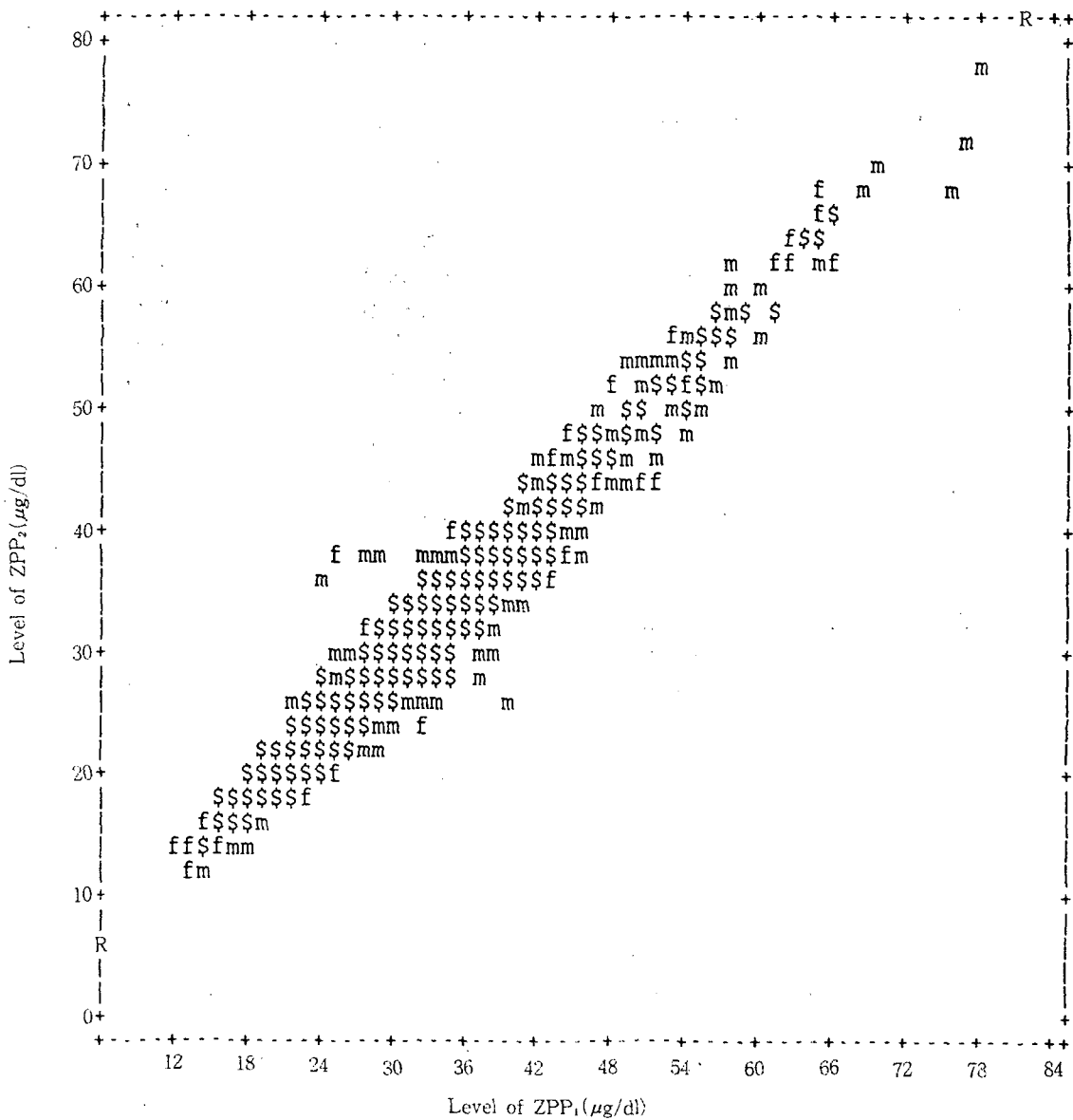


Fig. 2. Diagram of correlation between ZPP₁ and ZPP₂

m : male f : female \$: Multiple occurrence

Table 3. The mean Hb level of male and female by age group

Age group	Mean \pm S. D.		p-value
	Male	Female	
-6	11.75 \pm 1.04	11.97 \pm 1.07	0.06
7-	15.11 \pm 1.37	12.85 \pm 1.14	0.00
p-value	0.00	0.00	

Table 4. Mean value of ZPP on 1,851 subjects by age and sex

Age group	ZPP ($\mu\text{g}/\text{dl}$)		Total Mean \pm S. D.	95% C. I. for total mean
	Male Mean \pm S. D.	Female Mean \pm S. D.		
0-	48.32 \pm 12.60	43.35 \pm 13.50	46.29 \pm 13.14	43.44-49.14
1-	46.67 \pm 12.05	39.85 \pm 11.20	42.85 \pm 11.63	38.67-47.04
2-	43.34 \pm 9.03	46.07 \pm 12.75	44.65 \pm 10.33	41.05-48.25
3-	43.29 \pm 11.41	36.89 \pm 14.08	40.97 \pm 11.28	36.42-45.52
4-	38.44 \pm 12.07	30.72 \pm 6.65	34.06 \pm 9.71	30.51-37.62
5-	31.15 \pm 9.78	34.99 \pm 11.31	32.87 \pm 10.70	30.66-35.09
6-	27.16 \pm 7.74	29.77 \pm 7.42	28.46 \pm 7.66	27.07-29.86
7-9	38.45 \pm 12.80	33.91 \pm 11.33	36.51 \pm 12.19	31.78-41.24
10-14	35.79 \pm 9.21	34.11 \pm 8.55	35.01 \pm 8.84	32.22-37.80
15-19	28.69 \pm 7.55	33.72 \pm 10.77	29.90 \pm 8.60	27.55-32.25
20-24	31.89 \pm 10.08	29.99 \pm 7.85	30.29 \pm 8.21	28.42-32.17
25-29	29.52 \pm 9.03	31.74 \pm 10.07	30.41 \pm 9.48	28.73-32.08
30-34	32.26 \pm 7.42	27.57 \pm 9.04	31.32 \pm 8.12	30.06-32.58
35-39	32.40 \pm 7.50	29.69 \pm 7.76	31.79 \pm 7.97	30.72-32.87
40-44	32.72 \pm 9.96	27.64 \pm 7.02	31.67 \pm 9.77	30.20-33.13
45-49	31.49 \pm 7.45	30.71 \pm 9.36	31.43 \pm 8.31	30.26-32.61
50-54	30.93 \pm 7.14	29.74 \pm 9.42	30.60 \pm 7.84	29.27-31.93
55-59	30.61 \pm 6.40	27.65 \pm 6.54	29.89 \pm 6.53	28.64-31.14
60-64	33.77 \pm 7.80	28.62 \pm 8.74	32.03 \pm 8.44	30.03-34.02
65-	34.40 \pm 9.20	29.12 \pm 7.82	31.66 \pm 8.85	29.20-34.12
Total	32.72 \pm 9.50	31.48 \pm 10.15	32.54 \pm 9.88	32.09-32.99
p-value	0.07			

Table 5. The mean ZPP level of male and female by age group

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

Age group	Male Mean \pm S. D.	Female Mean \pm S. D.	p-value	Total
~6	37.49 \pm 13.31	35.77 \pm 11.85	0.00	36.65 \pm 12.63
7-	31.91 \pm 8.23	30.11 \pm 9.11	0.00	31.34 \pm 8.55
p-value	0.00	0.00		0.00

34 \pm 8.55 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 보다 유의하게 높았다 ($p > 0.05$). 성별로는 남자의 경우 학동기전 소아군이 37.49 \pm 13.3 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 7세 이상군의 31.91 \pm 8.23 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 보다 유의하게 높았으며, 여자의 경우에도 학동기전 소아군이 35.77 \pm 11.85 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 7세 이상군의 30.11 \pm 9.11 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 보

다 통계학적으로 유의하게 높은치를 나타내었다 ($p < 0.05$).

조사대상자들의 혈중 연농도는 23.84 \pm 4.58 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (95% 신뢰구간 23.55~24.14 $\mu\text{g}/\text{dl}$)이었으며 남자의 평균치가 24.64 \pm 4.15 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 여자의 23.03 \pm 4.85

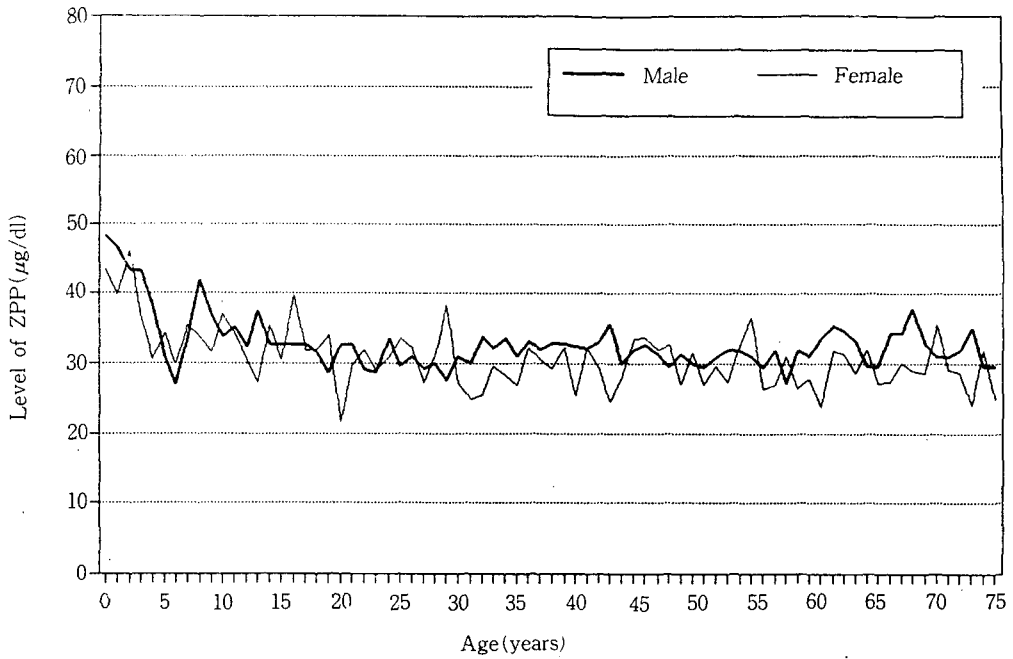


Fig. 3. Level of ZPP on 1,851 subjects by age and sex

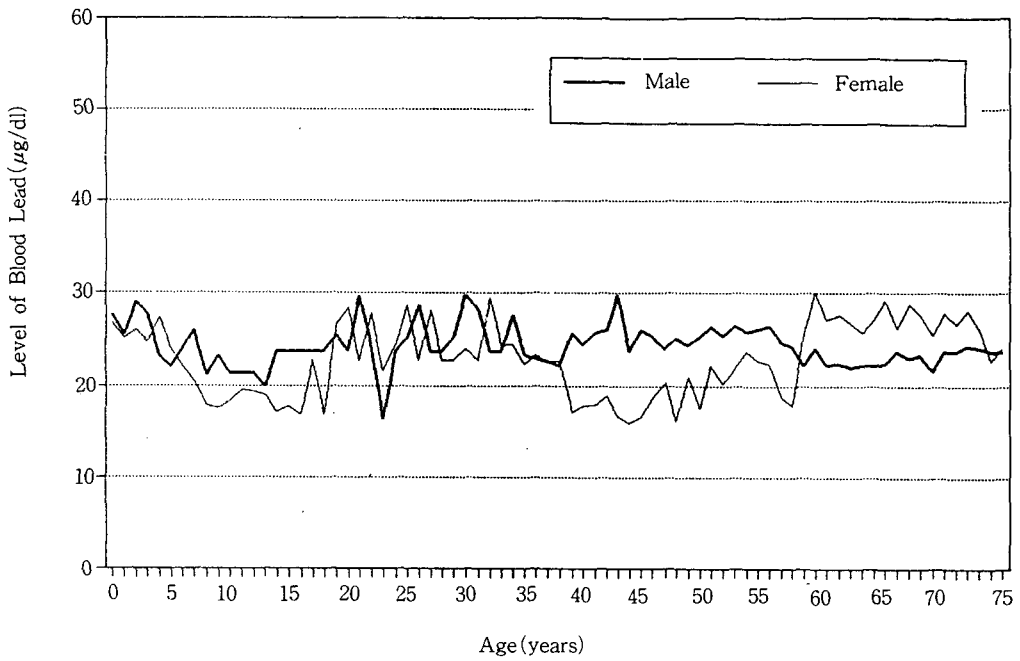


Fig. 4. Level of blood lead on 1,851 subjects by age and sex

$\mu\text{g}/\text{dl}$ 보다 통계학적으로 유의하게 높았다($p < 0.05$). 연령별로는 남자의 경우 2세군이 $28.95 \pm 6.01 \mu\text{g}/\text{dl}$ 로 가장 높았으며 다음으로 30~34세군, 3세군 및 0세군 등의 순으로 각각 $28.76 \pm 1.35 \mu\text{g}/\text{dl}$, $27.65 \pm 5.49 \mu\text{g}/\text{dl}$ 및 $27.59 \pm 6.72 \mu\text{g}/\text{dl}$ 이었으며, 10~14세군이 $20.57 \pm 1.41 \mu\text{g}/\text{dl}$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다.

여자의 경우에는 65세 이상군이 $27.47 \pm 2.73 \mu\text{g}/\text{dl}$ 로 가장 높았으며 다음이 60~64세군, 25~29세군 및 0세군 등의 순으로 각각 $27.44 \pm 3.03 \mu\text{g}/\text{dl}$, $27.39 \pm 2.79 \mu\text{g}/\text{dl}$ 및 $26.75 \pm 4.99 \mu\text{g}/\text{dl}$ 이었으며, 40~44세군이 $17.53 \pm 3.24 \mu\text{g}/\text{dl}$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다(Table 6, Fig. 4).

Table 6. Mean value of blood lead (PbB) on 1851 subjects by age and sex

Age group	PbB ($\mu\text{g}/\text{dl}$)		Total Mean \pm S. D.	95% C. I. for total mean
	Male Mean \pm S. D.	Female Mean \pm S. D.		
0-	27.59 \pm 6.72	26.75 \pm 4.99	27.24 \pm 6.04	25.93-28.55
1-	25.42 \pm 5.29	25.17 \pm 3.61	25.28 \pm 4.35	23.71-26.85
2-	28.95 \pm 6.01	25.96 \pm 3.93	27.63 \pm 5.34	25.77-29.50
3-	27.65 \pm 5.49	24.58 \pm 7.27	26.47 \pm 6.28	23.93-29.01
4-	23.20 \pm 3.02	26.89 \pm 3.40	25.34 \pm 3.69	23.99-26.70
5-	21.95 \pm 3.07	23.85 \pm 2.86	22.96 \pm 3.10	22.32-23.60
6-	23.75 \pm 2.44	22.21 \pm 3.06	22.99 \pm 2.86	22.46-23.51
7- 9	22.82 \pm 3.83	18.89 \pm 2.61	21.13 \pm 3.85	19.64-22.63
10-14	20.57 \pm 1.41	18.55 \pm 1.22	19.63 \pm 1.66	19.11-20.16
15-19	25.45 \pm 2.06	19.70 \pm 4.23	24.51 \pm 3.28	23.57-25.45
20-24	23.45 \pm 6.69	24.82 \pm 2.44	24.61 \pm 3.16	23.13-26.09
25-29	25.62 \pm 2.61	27.39 \pm 2.79	26.44 \pm 2.73	24.79-28.09
30-34	28.76 \pm 1.35	24.67 \pm 6.66	25.64 \pm 6.07	22.88-28.40
35-39	23.32 \pm 1.89	21.69 \pm 4.80	22.04 \pm 4.38	20.91-23.17
40-44	26.21 \pm 4.11	17.53 \pm 3.24	21.96 \pm 5.72	20.32-23.60
45-49	24.86 \pm 1.76	18.80 \pm 3.85	21.78 \pm 4.27	20.72-22.84
50-54	25.86 \pm 1.49	21.14 \pm 4.10	23.55 \pm 3.85	22.49-24.61
55-59	24.79 \pm 2.47	21.04 \pm 4.08	23.17 \pm 3.73	22.12-24.22
60-64	22.39 \pm 1.94	27.44 \pm 3.03	24.86 \pm 3.57	23.78-25.93
65-	22.63 \pm 2.37	27.47 \pm 2.73	25.15 \pm 3.52	24.17-26.13
Total	24.64 \pm 4.15	23.03 \pm 4.85	23.84 \pm 4.58	23.55-24.14
p-value	0.00			

Table 7. The mean blood lead level of male and female by age group

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

Age group	Male Mean \pm S. D.	Female Mean \pm S. D.	p-value	Total
-6	25.10 \pm 5.21	24.45 \pm 4.18	0.00	24.78 \pm 4.74
7-	24.28 \pm 3.00	21.99 \pm 5.05	0.00	23.11 \pm 4.32
p-value	0.04	0.00		0.00

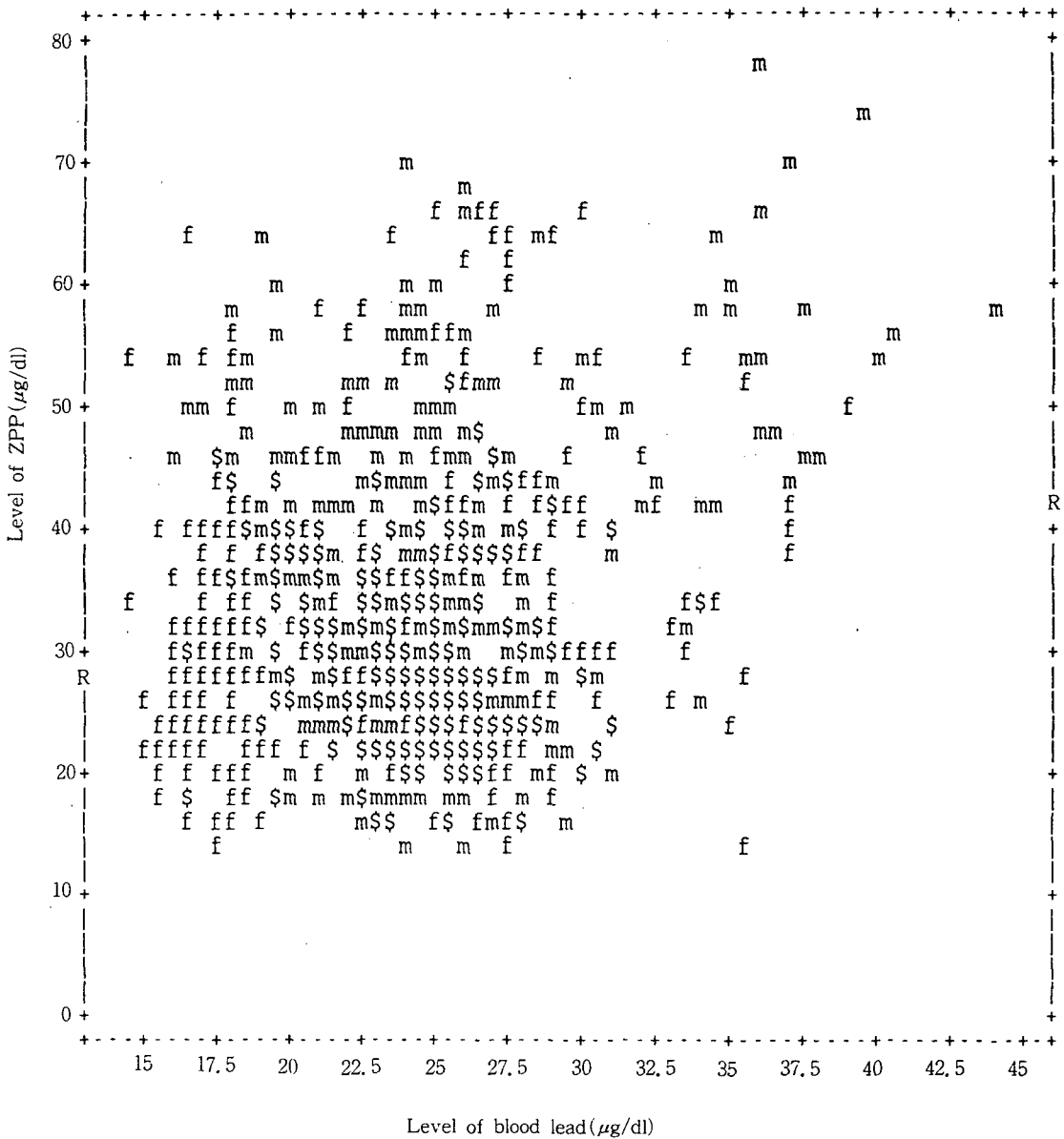


Fig. 5. Diagram of correlation between ZPP level and blood lead level

m : male f : female S : Multiple occurrence

학동기전 소아의 평균 혈중 연농도는 Table 7에서와 같이 $24.78 \pm 4.74 \mu\text{g/dl}$ 로 7세 이상군의 $23.11 \pm 4.32 \mu\text{g/dl}$ 보다 유의하게 높았다($p < 0.55$). 이를 성별로 보면 남자의 경우 학동기전 소아군이 $25.10 \pm 5.21 \mu\text{g/dl}$ 로 7세 이상군의 $24.28 \pm 3.00 \mu\text{g/dl}$ 보다 높았으며($p < 0.05$), 여자인 경우도 학동기전 소아군

이 $24.25 \pm 4.18 \mu\text{g/dl}$ 로 7세 이상군의 $21.99 \pm 5.05 \mu\text{g/dl}$ 보다 유의하게 높았다($p < 0.05$) (Table 7).

혈중 ZPP 치와 혈중 연과의 상관관계는 그 상관관계수가 0.15로서 통계적으로 유의한 관련성을 찾아볼 수 없었다(Fig. 5).

IV. 고 찰

연은 대부분 PbS(galena)의 형태로 지표면의 토양 1g 당 12 μ g 정도 함유되어 있으나 지역에 따라 다소 차이가 있다(Mielke, 1983, WHO, 1980). 연제련, 고연재생, 연용접, 축전지제조 및 크리스탈유리제조 산업장 뿐 아니라 자동차 배기가스 등에서 발생한 연은 이들 산업장에서 근무하는 근로자들에게 연중독을 일으키는 것은 물론 대기오염의 주요 요인으로도 주목 받고 있다(Grandjean, 1991; Zenz, 1988). 직업성 연폭로 이외의 일반 국민의 혈중 연농도는 음식 및 대기중의 연량과 밀접한 관계가 있으며 음료수와 흡연에 의한 영향도 있다(Pocock, 1983).

성인에 있어서 연의 흡수는 호흡기를 통해서 흡입된 양의 약 50%, 소화기를 통해서 섭취한 양의 5~10% 정도가 흡수되며 소아인 경우에는 소화기를 통한 연의 흡수가 성인보다 높아 약 30%~50%가량이다(Duggan, 1983). 성인에 있어서 소화기를 통한 연의 1일 총섭취량은 국가 또는 지역에 따라 현격한 차이가 있는 바 1일 섭취하는 음식물 중 연량은 미국인의 경우 1975년도에 약 120 μ g/day, 1981년도에 80 μ g/day 정도였고(Ellwood, 1986), 일본인의 경우 도시 거주인이 160~220 μ g/day, 농촌 거주인이 33~38 μ g/day 정도 섭취하는 것으로 보고(Kurono, 1983; Teraoka 등, 1981; Ikeda 등, 1989)하고 있다. 특히 소아의 경우 Bander(1983) 등이 371명의 학동기전 어린이를 대상으로 한 연구에서 1일 연 섭취량은 1세, 2세, 3세, 4세, 5세가 각각 49 μ g/day, 55 μ g/day, 56 μ g/day, 65 μ g/day, 65 μ g/day, 74 μ g/day로 하루 동안 섭취하는 총 음식량이 성인에 비해 훨씬 적을 뿐 아니라 연의 체외배출도 성인에 비해 용이하지 못한 점을 고려한다면 이러한 양의 연의 섭취는 학동기전의 어린이들에 있어 혈중 연의 농도를 높일 수 있는 중요한 요인이 될 수 있을 것으로 사료된다.

본조사에서는 학동기전 소아에 있어 평균 혈색소치는 남아가 11.75g/dl(11.10~12.11g/dl)로 여아의 11.97g/dl(11.35~12.60g/dl)보다 낮았으며 이는 WHO의 소아 정상 혈색소치 11.0g/dl 이상 및 우리나라 학동기전 소아의 정상치(홍창의, 1988) 11.6~12.9g/dl에 속하는 범위였으나 Dallman(1979) 등

이 보고한 6세까지의 소아 평균치 12.5g/dl 보다는 다소 낮은 값을 나타내었는데 이는 조사대상자들의 종족의 차이에 기인된 것으로 생각된다. 7세 이상군의 혈색소치는 남자가 15.11g/dl(12.04~15.59g/dl)로 여자의 12.85g/dl(12.15~13.14g/dl)보다 유의하게 높았으며 이는 김준연 등(1991)의 교직원 931명을 대상으로 한 남자 및 여자의 15.57g/dl(14.9~15.78g/dl) 및 12.89g/dl(12.53~14.17g/dl), 신해림 등(1986)의 남자 및 여자의 15.17g/dl 및 13.22g/dl 등과 유사하였으며 이는 통상 성인의 정상범위인 남자 14~18g/dl 및 여자 12~16g/dl(Wilson, 1991), WHO의 성인의 정상 혈색소치인 남자 13g/dl 이상 및 여자 12g/dl 이상에 해당하였다.

본조사에서 조사대상자의 전체 평균 혈중 ZPP 치는 32.54 μ g/dl(28.46~46.29 μ g/dl)이었으며, 남자는 32.72 μ g/dl(27.16~48.32 μ g/dl), 여자는 31.48 μ g/dl(27.64~46.07 μ g/dl)로서 김정만 등(1984)이 건강인 602명을 대상으로 한 남자 26.54 μ g/dl(25.94~27.74 μ g/dl) 및 여자 26.10 μ g/dl(25.93~26.60 μ g/dl)보다는 높았으나 신해림(1986) 등이 공무원 및 사립학교 교직원 등을 대상으로 한 남자 31.69 μ g/dl 및 여자 33.61 μ g/dl와는 유사하였다. 학동기전 소아의 평균 혈중 ZPP 치는 36.65 μ g/dl로서 7세 이상군의 31.34 μ g/dl 보다 유의하게 높았는데 이는 우리나라 학동기전 소아의 혈중 연농도가 높거나 또는 생리적 기전의 미성숙 등으로 생각된다. 그러나 같은 조건이라 할지라도 혈중 ZPP 치는 혈색소치, 혈중 bilirubin 및 riboflavin 치, 측정장소의 기온 및 측정시간 뿐 아니라 측정기기에 따라서 다소 영향을 받기 때문에 이에 의한 영향도 무시할 수 없을 것으로 생각된다. 본조사에서 사용한 Helena Laboratories의 ZPP 측정기기는 측정단위가 μ mole ZPP/mole heme of whole blood로서 판독과정에서 혈색소치에 대해 보정을 하여야 한다(Kaul, 1986). 그러나 이러한 보정에도 불구하고 Buhrman 등(1978)은 혈색소치가 낮은 시료에 대해서는 위양성적으로 ZPP 치가 증가할 수 있다고 보고 하였으므로 본조사에서 40 μ g/dl 이상의 높은 ZPP 치에 해당되는 연령층에 대해서는 추후 요인분석에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본조사에서 전체 평균 혈중 연농도는 23.84 μ g/dl(19.63~27.63 μ g/dl)이었으며, 남자는 24.64 μ g/dl

(20.57~28.95 $\mu\text{g}/\text{dl}$), 여자는 23.03 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (17.53~27.47 $\mu\text{g}/\text{dl}$)로서 국내의 건강한 성인을 대상으로 한 김정만 등(1984)의 남자 23.00 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (21.96~23.92 $\mu\text{g}/\text{dl}$) 및 여자 22.93 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (22.77~23.16 $\mu\text{g}/\text{dl}$)와 유사하였으나 신태립 등(1986)의 남자 18.56 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 및 여자 15.67 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 황규운 등(1991)의 남자 18.70 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 김준연 등(1985)의 남자 16.67 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 및 여자 16.29 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 보다 높은 값을 나타내었는데 이러한 현상은 혈중연 자체의 농도가 동일지역, 유사한 연령층의 조사대상자라 할지라도 다양한 치를 나타낼 수 있기 때문에 정확한 원인을 규명하기는 어렵다. 본조사에서는 도시지역에 거주하는 전연령층의 건강인을 대상으로 하였기 때문에 성인의 연령층에 국한되어 조사한 국내의 타 연구자들의 성적과 직접적으로 비교할 수 없지만 아마도 그 차이는 조사대상의 연령, 거주지역 뿐 아니라 측정시점의 영향도 큰 것으로 생각되는 바 혈중연의 농도에 상당한 요인으로 작용하는 기중의 연농도는 같은 지역내에서도 하계가 춘계보다 높고, 일중 차이도 다소 시현된다고(임정규 등, 1987)하는 바 조사자들 간의 혈중연 농도의 차이는 간단히 설명하기가 쉽지 않은 것 같다. 기중의 연이 혈장내에서 적혈구와 결합하는 시간은 불과 수십분 내외이며 체내 연의 반감기는 1개월이 채 안되는 것으로 알려져 있어(Jaworski, 1979) 혈중연 농도는 측정시기의 기중연이 기후, 자동차 배기량 등의 변화로 달라질 수 있으므로 연자마다 어느 정도의 차이는 필연적일 수 밖에 없다고 생각된다. 혈중연의 지역별 차이는 더욱 심해, 그 리이스인 949명을 대상으로 한 연구에서 도시지역의 신생아, 소아 및 성인의 혈중 연농도가 각각 31.03 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 32.30 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 및 27.03 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로서 시골의 신생아, 소아 및 성인의 혈중 연농도 21.66 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 22.98 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 및 18.81 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 보다 높았으며(Drossos 등, 1982), 이집트의 알렉산드리아 지역의 45명의 교통경찰관을 대상으로 한 혈중 연농도도 평균 68 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (Ahmed, 1987)로 본 연구의 혈중 연농도보다 매우 높았다. 일본의 도쿄 거주자의 혈중 연농도는 6.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이었으며, 농촌 거주자인 경우에는 남자 4.86 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 및 여자 3.21 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (Watababe 등, 1985)이었고, 네팔의 시골 거주자인 경우에는 4.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (Vater 등, 1982) 등으로서 나라별로는 물론 도시와 시골이라는 거주지역에 따라 차이가 큰 것으로 보아 국내의 타연

구자들 간의 성적의 차이를 일부분 설명해 줄 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 이러한 점을 고려하더라도 미국의 CDC(Centers for Disease Control)에서는 혈중 연농도 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 를 집단검진에서 선별기준으로 추천하고 있으나 EPA(Environmental Protection Agency)에서는 혈중 연농도가 30 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 미만인 사람들이라 할지라도 그들중의 99.5%의 평균농도는 15 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 라고 보고(U.S. EPA, 1985)하고 있으므로 본조사에서 나타난 우리나라의 경우는 미국에 비해서 비록 선별기준을 초과하고 있지는 않으나 상당히 높은 치임을 알 수 있다.

Bellinger 등(1987)은 출생부터 2년 동안 관찰한 249명의 어린이들을 대상으로 혈중 연농도와 표준화된 정신발달 지수치(adjusted Mental Development Index scores)와의 관계에서 출생시 혈중 연농도가 고농도(14.6 $\mu\text{g}/\text{dl}$)인 군이 저농도(1.86 $\mu\text{g}/\text{dl}$) 및 중농도 농도(6.5 $\mu\text{g}/\text{dl}$)인 군보다 유의한 차이를 시현하였기 때문에, CDC(Centers for Disease Control)에서 어린이들의 혈중 연농도의 허용치를 25 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 미만으로 규정한 것은 신생아 및 영아에 적용하기에는 무리가 있다고 보고하였으며 이러한 연구결과 이후 최근 1991년에는 CDC에서 어린이에게 독성을 나타내는 혈중 연농도를 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 낮춰 조정하였다. 이와 같이 소아의 혈중 연농도가 성인에 비해 훨씬 낮은 기준이 설정되어야 한다고 하는 바 본 조사에서도 학동기전 소아의 혈중 연농도가 24.78 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 7세 이상군의 23.11 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 보다 유의하게 높았다. 성인에 비해 소아의 체내 연량은 적은 농도에서 인체 영향을 미칠 수 있다는 다수의 연구보고(Bellinger, 1987; Davis, 1987; Marecek, 1983)에 미루어 본 연구의 결과에서 나타난 소아의 혈중 연농도는 아주 중요한 의의를 지닐 것으로 생각된다.

우리나라의 소아에 관한 혈중 연농도는 체계적으로 연구된 적이 없으나 외국의 경우 미국 보스톤시의 한 병원에서 출생한 200명의 어린이들을 대상으로 출생시, 6개월, 1년 및 2년후의 혈중 연농도를 측정하였는 바 7.2 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 6.2 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 7.7 $\mu\text{g}/\text{dl}$, 7.6 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 및 6.8 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 등으로 소아 초기에서는 연령의 증가에 따른 혈중 연농도의 큰 변화는 없었다(Rabinowits, 1984). 또한 남부 오스트리아의 연제련공장 주위의 마을 어린이 1,239명을 대상으로 한 혈중 연농도는 1~3세, 4

세, 5세, 6세, 7세, 8세, 9세, 10세, 11세, 12~14세가 각각 22.1 μ g/dl, 22.1 μ g/dl, 21.4 μ g/dl, 20.0 μ g/dl, 18.9 μ g/dl, 17.7 μ g/dl, 17.0 μ g/dl, 15.8 μ g/dl, 16.1 μ g/dl, 16.4 μ g/dl(Wilson, 1986)로서 연령의 증가에 따라 혈중 연농도는 감소하였다. Shannon과 Fraef(1992)는 이미중(Pica), 페인트 섭취 등 연을 과량으로 섭취할 가능성이 있는 1세 미만의 영아 50명을 대상으로 한 조사에서는 혈중 연농도는 39 μ g/dl이었다고 보고하였고, 시골보다 도시에 거주하는 소아의 손에 묻은 흙에서 연이 높았을 뿐 아니라 이들이 거주하는 주택내의 공기중에서도 시골보다 도시가 높다고 보고(Sayre 등, 1974)하였다. Rabinowitz 등(1984)은 미국 보스톤시의 출생아의 혈중 연농도와 실내의 연농도 및 그 당시의 가솔린 판매량과의 상관관계는 높았으나 상수중의 연농도와는 상관관계가 없다고 보고하였다. Walter(1980) 등 및 Loveless 등(1973)은 9세 미만 소아들의 체내 연속적이 높은 요인으로 기증 연의 고농도와 토양중 연의 섭취를 주요인으로 들었으며 가정의 페인트는 중요한 요인이 아니라고 보고 하였다. 따라서 소아의 혈중 연농도에 영향을 주는 요인으로 기증 연농도, 토양중의 연의 섭취, 음식물중의 연의 함량 및 식수 및 음료의 연량 등 복합적인 요인으로 요약할 수 있으나 본조사에서는 거주지역의 차이에 따른 영향, 특히 시골지역의 성과과는 비교할 수 없었기 때문에 이들 주요인에 관해서는 향후 더욱 체계적으로 조사연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

한편 소아의 체내 연속적에 관해서는 체중 70kg의 성인이 1일 300 μ g의 연을 섭취하는 경우 연의 체내 축적은 0.43 μ g/kg/day 인 반면, 12.6kg의 소아가 1일 130 μ g을 섭취할시 연의 체내 축적은 1.03 μ g/kg/day로 연의 체내 흡수는 성인보다 소아에서 훨씬 높다. 이러한 현상은 호흡기를 통한 흡수에서도 유사한 양상을 나타내는 바 같은 기증 연농도에 폭로되는 성인 및 소아인 경우 소아에서 2배이상 체내 흡수가 일어난다고 보고하였다(Ziegler 등, 1978; Alexander 등, 1973). 소아의 혈중 연농도는 이러한 생리적인 연유외에도 가정의 노화된 가구, 벽면이나 바닥의 페인트에 포함된 연을 섭취할 기회가 높으므로 같은 지역 내에서 성인에 비해 소아의 혈중 연농도가 높을 수 있는 요인들은 충분히 존재한다고 사료된다. 따라서 우리나라의 도시에 거주하는 소아인 경우 체내 연농도를

낮추기 위해 특별히 환경관리 및 연섭취 방지에 노력해야 할 것이다.

조사대상 전체 혈중 ZPP 치와 혈중 연농도와의 상관관계($r=0.15$)는 낮았다. 이는 본조사에서 비록 혈중 연농도가 40 μ g/dl 이상은 사람이 2명에 불과하여 전체의 상관관계에 미치는 영향이 적었기 때문으로 사료되며, 혈중 연치가 40 μ g/dl 미만에서는 혈중 ZPP 치와의 상관관계가 원칙적으로 없다는 Suga 등(1981)의 보고와 일치하였다.

V. 요약

1991년 5월 1일부터 약 6개월 동안 남자 1,193명 및 여자 658명을 대상으로 우리나라 도시 거주자들의 혈중 혈색소치, ZPP 치 및 연농도를 성별, 연령별로 측정된 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. 혈색소의 평균치는 남자 14.55 \pm 1.82g/dl, 여자 12.61 \pm 1.18g/dl이었으며, 20세 이상군에서는 남자가 여자보다 유의하게 높았다($p<0.05$).
2. 혈중 ZPP 치는 32.54 \pm 9.88(32.09~32.99 μ g/dl, 95% C.I.) μ g/dl이었으며 7세 미만 소아의 혈중 ZPP 치는 남아 및 여아가 37.49 \pm 13.31 μ g/dl 및 35.77 \pm 11.85 μ g/dl로 7세 이상군의 남자 및 여자의 31.91 \pm 8.23 μ g/dl 및 30.11 \pm 9.11 μ g/dl보다 유의하게 높았다($p<0.05$).
3. 혈중 연농도는 23.84 \pm 4.58(23.55~24.14, 95% C.I.) μ g/dl이었으며, 7세 미만 소아의 혈중 연농도는 남아 및 여아가 25.10 \pm 5.21 μ g/dl 및 24.45 \pm 4.18 μ g/dl로 7세 이상군의 남자 및 여자의 24.28 \pm 3.00 μ g/dl 및 21.99 \pm 5.05 μ g/dl보다 유의하게 높았다($p<0.05$).

이상의 결과를 요약하면 우리나라 도시 거주인은 남녀 모두 전연령에 걸쳐 높은 혈중 ZPP 치 및 연농도를 나타내었으며 이러한 현상은 학동기전 소아에서 더욱 현저하므로 이들에 대한 관리대책 수립이 필요하다고 사료된다.

참고 문헌

김정만. 연제련 작업자들에서의 혈색소, 연중 연 및 혈중

- zinc protoporphyrin 에 관한 연구. 한국의 산업의학 1986 ; 25(1) : 1-8
- 김정만, 이광목. 연폭로의 생물학적 지표로서 혈중 ZPP 치의 의의. 가톨릭대학 의학부 논문집 1984 ; 37(4) : 939-951
- 김준연, 이채언, 전진호, 문덕환, 이명철, 김병수, 김용환. 연 취급 근로자들의 생화학적 검사에 관한 연구. 인제의학 1986 ; 6(3) : 427-436
- 김창윤. 축전기공장 근로자들의 혈중 연농도에 대한 코오트 관찰. 예방의학회지 1990 ; 23(3) : 324-337
- 이병국. Lead Standard-Occupational Safety and Health Administration, U. S. A., 한국의 산업의학 1987 ; 26(1) : 1-8
- 이병국. 연제련 작업자들에서의 연폭로에 관련된 생물학적 지표들의 상호관계. 한국의 산업의학 1984 ; 23(1) : 1-7
- 임정규, 문덕환, 이명철, 이채언, 배기택, 김용환, 김정균, 김준연, 김병수. 부산지역의 대기중 중금속 오염도에 관한 조사연구. 환경과 공해 1987 ; 6 : 331-344
- 박정일, 구정완, 노영만, 이승한. 고속도로 톨게이트 근로자들의 연 폭로 및 자각증상에 관한 조사. 예방의학회지 1990 ; 2(2) : 134-141
- 신해림, 김준연. 연폭로 지표들의 정상치에 관한 연구. 예방의학회지 1986 ; 19(2) : 167-177
- 정갑열. 직업성 연폭로가 혈압에 미치는 영향에 관한 조사연구. 대한산업의학회지 1989 ; 1(1) : 69-85
- 황규윤, 안재익, 안규동, 이병국, 김정순. 저농도 연폭로에서 혈중 연농도와 자각증상과의 관계. 예방의학회지. 1991 ; 24(2) : 181-194
- 임정균, 문덕환, 이명철, 이채언, 배기택, 김용환, 김정균, 김준연, 김병수. 부산지역의 대기중 중금속 오염도에 관한 조사연구. 환경과 공해 ; 10(5) : 331-344
- Alexander FW, Delvers HT, Clayton BE. *The uptake and excretion by children of lead and other contaminants. International symposium on environmental health aspects of lead. Amsterdam, European Atomic Energy Community 1972 ; Rep. EUR 5004d-e, f. pp. 319-331*
- Ahmed NS, EL-Gendy KS, Marzouk SA, Bakry NS, EL-Sebae AH, Soliman SA. *Assessment of lead toxicity in traffic controllers of alexandria, Egypt, Road intersection. Archives of Environmental Health 1987 ; 42(2) : 92-95*
- Balamut R, Doran D, Firidhar G, Mitchell D, Soule S. *Systematic error between erythrocyte protoporphyrin in proficiency test samples and patients' samples as measured with two hematofluorometers. Clinical Chemistry 1982 ; 28(12) : 2412-2422*
- Bander LK, Morgan KJ, Zabik ME. *Dietary lead intake of preschool childrens. AJPH 1983 ; 73(7) : 789-794*
- Bellinger D, Sloman J, Leciton A, Rabinowitz M, Needleman H, Waternaux C. *Low-level lead exposure and children's cognitive function in the preschool years. Pediatrics 1991 ; 87(2) : 219-227*
- Bellinger D, Leviton A, Waternaux C, Needleman H, Rabinowitz M. *Longitudinal analysis of prenatal and postnate lead exposure and early cognitive development. The New England J of Medicine 1987 ; 316(17) : 1037-1043*
- Bellinger D, Leviton A, Waternaux C, Needleman H, Rabinowitz M. *Longitudinal exposure to lead and childrens abilities at the age of four year. The New England J of Medicine 1988 ; 319 : 468-475*
- Blumberg WE, Elsinger J, Lamola AA, Zuckerman DM. *ZPP level in blood determined by a portable hematofluorometer : a screening device for lead poisoning. J Lab Clin Med 1977 ; 4 : 712-722*
- Center for Disease Control. *Increased Lead Absortion and Lead Poisoning in Young Children. Pediatrics. 1975 ; 87(5) : 824-830*
- Dallman PR, Siimes MA. *Percentile curves for hemoglobin and red cell volune in infancy and childhood. Pediatrics 1979 ; 94(10) : 26-31*
- Davis JM, Svendsgaard DJ. *Lead and child development. Nature 1987 ; 329 : 297-300*
- Drossos CG, Mavroidis KTH, Michalodimitrakis PD, Salamalikis LX, Gounaris AK, Varonos DD. *Environmental lead pollution in Greece. Am Ind Hyg Assoc J. 1982 ; 43 : 796-799*
- Eisinger J. *Zinc Protoporphyrin in Blood as a Biological Indicator of Chronic Lead Intoxication. J Environ Path & Toxic 1978 ; 1 : 897-910*
- Elwood PC. *The sources of lead in blood. A critical review. Sci Total Environ 1986 ; 52 : 1-23*
- Fanning D. *A mortality study of lead workers, 1926-1985. Archives of Environmental Health 1988 ; 43(3) : 247-251*
- Fulton M, Thompson G, Hunter R, Raab G, Laxen D, Hepburn W. *Influence of blood lead on the Edinburgh. Lancet 1987 ; 10 : 1221-1226*
- Grandjean P, Lintrup J. *Erythrocyte-Zn-Protoporphyrin*

- as an Indicator of Lead Exposure. *Scand J Clin Lab Invest* 1978 ; 38 : 669-675
- Grandjean P. *Public Health & Preventive Medicine : Health significance of metals*. 13th Ed, Prentice-Hall International Inc. 1992 ; pp. 389-392
- Ikeda A, Watanabe T, Koizumi A, Fujuta J, Nakatsuka H, Kasahara M. *Dietary intake of lead among Japanese farmers*. *Archives of Environmental Health* 1989 ; 44(1) : 23-29
- Jaworski JF. *Effects of lead in the environment-1978*. National research council Canada ; NRCC Associate committee on scientific criteria 1979 ; pp. 301-312.
- Kaul B, Slavin G, Davidow B. *Free erythrocyte protoporphyrin and ZPP measurements compared as primary screening methods for detection of lead poisoning*. *Clinical Chemistry* 1983 ; 29(8) : 1467-1470.
- Kurono T. *Lead content in food in Japan in the early 1980's with the estimation of its daily intake*. *Osaka City Med J* 1983 ; 29 : 15-41
- Lamola A, Yamane T. *Zinc Protoporphyrin in the Erythrocytes of patients with Lead Intoxication and Iron Deficiency Anemia*. *Science* 1974 ; 186-936
- Lamola A. *Zinc Protoporphyrin(ZPP) : A Simple Sensitive Fluorometric Screening Test for Lead Poisoning*. *Clinical Chemistry* 1975 ; 21-93
- Loveless BG, Knotts DW, Luby JP, Johanson WC. *Survey of blood lead levels in children-influence of a point source of atmospheric lead*. *Am Rev Resp Dis* 1976 ; 107 : 1121-1122
- Mahaffey KR, Annest JL, Roberts J, Murphy RS. *National estimates of blood lead levels : United States, 1976-1980*. *The New England J of Medicine* 1982 ; 24 : 146-147
- Marecek J, Shapiro I, Katz SH, Hediger ML. *Low-level lead exposure in childhood influences neuropsychological performance*. *Archives of Environmental Health* 1983 ; 38(6) : 355-358
- Malcolm D, Barnett H. *A mortality study of lead workers 1925-76*. *Br J of Ind Med* 1982 ; 39 : 404-410
- Martin D. *Lead poisoning in children : an analysis the causes and proposals for prevention*. *J of Environmental Health* 1991 ; 54(1) : 18-19
- McMichael AJ, Baghurst P, Wigg NR, Vimpani GV, Robertson EF, Roberts RJ. *Port Pirie cohort study : environmental exposure to lead and children's abilities at the age of four years*. *The New England J of Medicine* 1988 ; 25 : 465-475
- Mielke HW, Anderson JC, Berry KJ, Mielke PW, Chaney RL, Leech M. *Lead concentrations in inner-city soils as a factor in the child lead problem*. *AJPH* 1983 ; 73(12) : 1366-1369
- Neri UC, Hewitt D, Johansen J. *Health effects of low level occupational exposure to lead*. *Archives of Environmental Health* 1983 ; 38(3) : 180-189
- Needleman HL. *The persistent threat of lead*. *Am J Public Health* 1989 ; 79 : 643-654
- Needleman HL, Davidson I, Sewell EM, Shapiro IM. *Subclinical lead exposure in Philadelphia schoolchildren*. *The New England J of Medicine* 1974 ; 31(1) : 245-248
- Novel V. *Empirically determined lead-poisoning screening cut-off for the Protofluor-Z hematofluorometer*. *Clinical Chemistry* 1989 35(10) : 2104-2107
- Parkinson DK, Hodgson MJ, Bromet EJ, Dew MA, Connell MM. *Occupational lead exposure and blood pressure*. *Br J of Ind Med* 1987 ; 44 : 744-748
- Parsons PJ, Stanton NV, Gunter EW, Huff D, Meola JR, Reilly AA. *An interlaboratory comparison of control materials for use with hematofluorometers*. *Clinical Chemistry* 1989 ; 35(10) : 2059-2065
- Piomelli S. *Rapid Diagnosis of Iron Deficiency by Measurement of Free Erythrocyte porphyrins and Hemoglobin : The FEP/Hemoglobin Ratio*. *Pediatrics* 1976 ; 57(1)
- Pirkle JL, Schwartz J, Landis JR, Harlan WR. *The relationship between blood lead levels and blood-pressure and its cardiovascular risk implications*. *Am J Epidemiol* 1985 ; 121 : 246-258
- Pocock SJ, Shaper AG, Walker M. *Effects of tap water lead, water hardness, alcohol, and cigarettes on blood concentration*. *J of Epidemiology and community Health* 1983 ; 37 : 1-7
- Pueschel SM, Kopito L, Schwachman H. *Children with an increased lead burden*. *JAMA*. 1972 ; 222(4) : 462-466
- Rabinowits M, Leciton A, Needleman H. *Lead in milk and infant blood : a dose-response model*. *Archives of Environmental Health* 1985 ; 40(5) : 283-286
- Rabinowits M, Leciton A, Needleman H. *Variability*

- of blood lead concentrations during infancy. *Archives of Environmental Health* 1984; 39(2): 74-77
- Rabinowitz M, Needleman H, Burley M, Rees J. *Lead in umbilical blood, indoor air, tap water, and gasoline in Boston.* *Archives of Environmental Health* 1984; 39(4): 299-301
- Robert FL. *History and Background of Protoporphyrin Testing.* *Clin Chem* 1977; 23(2): 256-259
- Sayre JW, Charney E, Vostal J, Pless IB. *House and hand dust as a potential source of childhood lead exposure.* *Am j Dis Child* 1974; 127: 167-170
- Shannon MW, Fraef JW. *Lead intoxication in infancy.* *Pediatrics* 1992; 89(1): 87-90
- Sharp DS, Smith AH, Holman BL, Fisher JM, Osterloh J, Becker CE. *Elevated blood pressure in treated hypertensives with low level lead accumulation.* *Arch Environ health* 1989; 44: 18-22
- Schwartz J, Otto DA. *Blood lead, hearing threshold and neurobehavioral development in children and youth.* *Archives of Environmental Health* 1987; 42: 153-160
- Stokinger H. *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Metal: Lead, 3rd revised edition.* New York, John Wiley and Sons, 1982, Vol. 2A, pp. 1678-1728
- Suga RS, Fischinger AJ, Knoch FW. *Establishment of normal values in adults for ZPP using hematofluorometer: correlation with normal blood lead values.* *Am Ind Hyg Asso J*; 42(9): 637-642
- Tetaoka H, Morii F, Kobayashi J. *The concentrations of 24 elements in foodstuffs and the estimate of its daily intake.* *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 1981; 34: 211-219
- U.S. Environmental Protection Agency: *Preventing lead poisoning in young children: a statement by the Centers for Disease Control, January 1985.* Atlanta, GA: US Dept of Health and Human Services publication 99-2230
- Vahter M. *Assessment of human exposure to lead and cadmium through biological monitoring.* Stockholm, Sweden: National Swedish Institute of Environmental Medicine and Department of Environmental Hygiene, Karolinska Institute, 1982, 48, pp. 14-19
- Walter SD, Yankel AJ. *Age-specific risk factors for lead absorption in children.* *Archives of Environmental Health* 1980; 35(1): 53-58
- Watanabe T, Fujita H, Koiaumi A, Miyasaka M, Ikeda M. *Baseline level of blood lead concentration among Japanese farmers.* *Archives of Environmental Health* 1985; 40(3): 170-176
- Wilson D, Esterman A, Lewis M. *Children's blood lead levels in the lead smelting town of Port Pirie, South Australia.* *Archives of Environmental Health.* 1986; 41(4): 245-250
- World Health Organization. *Environmental Health Criteria, Lead.* Geneva, WHO; 1980
- Youroukos S, Lyberatos C, Philippidou A, Gardikas C. *Increased blood lead levels in mentally retarded children in Greece.* *Archives of Environmental Health* 1978; 6: 297-299
- Ziegler EE, Edwards BB, Jensen RL, Mahaffey KR, Fomon SJ. *Absorption and retention of lead by infants.* *Pediat Res* 1978; 12: 29-34
- Zenz C. *Occupational Medicine, principles and practical applications.* 2nd Ed, Chicago, Year book Medical Publishers, Inc., 1988, pp. 547-582
- Zylke JW. *Preventive medicine's latest goal: Getting lead out to protect children.* *JAMA* 1991; 266(3). 315-316