

# 한국인의 연, 망간, 알루미늄 및 실리콘의 혈중 농도

김정만, 안정모, 김원술<sup>1)</sup>, 김정일<sup>2)</sup>, 신해림, 정갑열<sup>2)</sup>, 김준연

동아대학교 의과대학 예방의학교실 및 산업의학연구소, 한동대학교 선린병원 건강관리과<sup>1)</sup>  
동아대학교 의과대학 산업의학교실<sup>2)</sup>

## Blood Lead, Manganese, Aluminium and Silicon Concentrations in Korean Adults

Jung Man Kim, Jung Mo Ahn, Won Sul Kim<sup>1)</sup>, Jung Il Kim<sup>2)</sup>, Hai Rim Shin,  
Kap Yeol Jung<sup>2)</sup>, Joon Youn Kim

Department of Preventive Medicine, College of Medicine and Industrial Medicine Research Institute, Dong-A University  
Department of Health Care, Handong University Sunlin Presbyterian Hospital<sup>1)</sup>  
Department of Occupational Medicine, College of Medicine, Dong-A University<sup>2)</sup>

**Objectives :** This study was performed to determine the reference values of blood lead, manganese, aluminium, and silicon in healthy adults.

**Methods :** The subjects were 132 (67 male and 65 female), and classified to three age groups ( $\leq 39$ , 40~49, and 50 $\leq$ ). Blood lead, manganese and aluminium were analyzed by atomic absorption spectrophotometer, and blood silicon was analyzed by direct current plasma optical emission spectrometer.

**Results :** Blood lead levels(geometric mean, S.D) were (3.49, 1.70)  $\mu\text{g}/\text{dL}$  in male and (3.04, 1.65)  $\mu\text{g}/\text{dL}$  in female, but the difference is not significant, and there was no significant difference between age groups. Mean blood manganese level was  $0.99 \pm 0.41$   $\mu\text{g}/\text{dL}$ , and there was no significant difference between sex or age groups. Mean blood

aluminium level was  $0.59 \pm 0.35$   $\mu\text{g}/\text{dL}$ , and there was no significant difference between sex or age groups. Mean blood silicon level was  $54.41 \pm 27.64$   $\mu\text{g}/\text{dL}$  in male and  $43.34 \pm 23.51$   $\mu\text{g}/\text{dL}$  in female, and the level in male was significantly higher than that in female ( $p < 0.05$ ). There was significant difference between age groups, and the oldest showed the highest level in male ( $p < 0.05$ ), but no significant difference between age groups in female.

**Conclusions :** Authors hope that this study would provide basic data for determining reference values and evaluating health effects.

Korean J Prev Med 2000;33(2):157-164

**Key Words:** Lead, Manganese, Aluminium, Silicon, Blood concentration

## 서 론

연은 고대 이집트의 피라미드 건설시 기부터 사용되어 왔으며, 산업의 발달로 연간 사용량이 지속적으로 늘어나고 있는 금속으로, BC 2세기에 처음으로 직업성 중독이 기술되었다(CDC, 1991). 국내의 경우 노동부 통계를 보면 1996년도 직업병 유소견자 중 연중독이 소음성난청, 진폐증, 유기용제중독 다음으로 많이 발생하였다. 정상 성인의 경우 1일 음식과 물에서 300  $\mu\text{g}$ , 공기에서 50  $\mu\text{g}$ , 그리고 흡연자는 담배 한 개비당 약 0.5  $\mu\text{g}$ 의 연

을 각각 섭취하며, 호흡기를 통해서 흡입된 경우 약 25~40%, 소화기를 통해서 섭취된 경우 약 10% 정도가 체내에 흡수된다(Zenz 등, 1994). 현재까지도 인체에 대한 연의 유용한 작용은 보고된 바 없으나, 인체 노출량에 따라서 조혈계를 비롯한 신경계, 신장 및 간장, 심혈관계, 생식기계 등에 독성을 유발하며(Foulton 등, 1987; Zenz 등, 1994), 최근에는 저농도의 만성 연노출에 따른 신경정신학적 영향 및 생식기능의 영향에 대한 관심이 증대되고 있다(Neri 등, 1983; 황규운 등, 1991). 연 노출에 관한 연구는 과거에는

축전지 제조, 금속연마, 청동 및 납쇠작업, 인쇄 및 납땀 등의 직업적 노출에 대한 연구가 대부분이었으나, 근래에는 연에 오염된 환경 및 흡연 등에 의한 환경적 노출에 따른 인체장해 및 노출량에 대한 조사도 활발하게 이루어지고 있다(신해림과 김준연, 1986; 황규운 등, 1991; 정갑열 등, 1996).

망간은 지구상에서 12번째로 흔한 원소로서 지하 및 지표면에 광범위하게 분포하고, 철강산업을 비롯한 여러 산업에서 이용되고 있으며, 인체의 필수원소의 하나로 정상적인 골형성, 카테콜아민의 대사, 과당합성 및 혈액응고, 효소반응 촉매제 등 다양한 작용을 한다(Wilson 등, 1991). 망간은 1일 약 2~3 mg이 음식물

접수 : 1999년 9월 8일, 채택 : 1999년 3월 20일

본 연구는 1997년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)의 지원에 의하여 연구되었음.

교신저자 : 김준연 (동아대학교 의과대학 예방의학교실, 전화번호 : 051-240-2932, 팩스번호 : 051-253-5729)

을 통해 섭취되고 섭취는 곡물에 의한 것이 대부분이며 지역에 따라 상당량이 음용수를 통해서 섭취된다. 망간의 위장관에서의 흡수는 섭취량의 5% 이하이고 철결핍의 경우에는 높은 흡수율을 나타낸다(Wallace 등, 1998). 망간에 대한 인체 독성에 관한 연구는 대부분 산업장에서의 직업적 노출에 의한 장애에 국한되어 있다. 망간중독은 급성증상으로 눈, 피부 및 점막자극과 만성증상으로 호흡기계 및 중추신경계 장애를 유발한다(Tonaka와 Lieben, 1969). 근년에 용접공에서 망간폐증 및 파킨슨 증후군과 유사한 만성 중추신경장애가 사회적으로 문제된 바 있어 망간노출 정도를 예측할 수 있는 생물학적 지표를 개발하여 이상소견자를 조기에 색출하여 관리해야 할 필요성이 고조되고 있다.

알루미늄은 지각의 약 8%로서 산소, 규소 다음으로 풍부하게 존재하며, 대부분 산소와 결합하여  $alumina(Al_2O_3)$ 의 형태로 존재하고, 가볍고 열과 전기의 전도력이 뛰어난 성질 때문에 일상생활용품에서부터 자동차, 비행기에 이르기까지 광범위하게 사용되고 있다(Last 등, 1998). 알루미늄의 일상생활에서의 환경적 노출은 주로 물, 음식 첨가제, 음식, 알루미늄제 조리기구 및 용기에 의한 것으로 1일 30~50 mg 정도 섭취된다(Bjorksten, 1982). 케이크, 치즈, 주스, 맥주제품 등에 사용되는 음식 첨가제에 비교적 많은 양의 알루미늄이 함유되어 있는 바, 미국 국민들의 음식 첨가제를 통한 알루미늄의 1일 섭취량은 약 20 mg이라고 한다(Greger, 1992). 특히 소화기계 장애를 가진 환자의 경우 제산제 복용으로 1일 수 mg의 알루미늄이 섭취되며, 투석환자의 경우 다량의 알루미늄이 체내에 흡수된다(Spencer 등, 1982). 고농도 알루미늄 노출에 의한 인체장애로는 알루미늄폐증, 알루미늄뇌증을 비롯한 신경독성, 골연화증, 골수독성 및 빈혈 등이 알려져 있다(Chan 등, 1983; Last 등, 1998). 한편 알루미늄이 부족한 음식을 섭취시킨 동물 실험에서는 성장과 생존율의 감소가 관찰되었으나(Last 등, 1998) 인체에서 알루

미늄의 유용성에 대해서는 현재에도 논란중이다. 알루미늄 노출에 대한 연구 역시 직업적 혹은 고농도의 알루미늄 환경적 노출에 의한 것이 대부분이고 생물학적 노출 지표의 개발과 건강장해에 대한 연구는 미비한 실정이다.

실리콘은 단일 물질로서는 자연계에 존재하지 않으나, 지각에서 두 번째로 많은 원소이고, 대부분이 산소와 결합하여  $silica, silicate, glass, sand$  등의 형태로 존재한다. 따라서 인체는 자연계 및 일상생활에서 다양하게 실리콘에 노출되고 있다. 실리콘은 1일 20~50 mg 정도 섭취되며 이들중 60% 정도는 곡류에서, 물이나 다른 음료를 통해서 약 19% 정도가 각각 섭취되고 이들의 흡수는 매우 용이하다(Pennington, 1991). 지하수중 실리콘 함량은 지리적으로 변동폭이 크나 대개 28~840  $\mu g/dL$ 이며, 흡수된 실리콘은 소변으로 빨리 배설된다(Day 등, 1991). 실리콘은 인체의 성장과 발달에 필요한 원소로 알려져 있으나(Carlisle, 1972), 인체장애 및 인체 내 대사과정에 대하여 명확하게 밝혀지지 않았고 동물실험에서 실리콘이 결핍된 경우 성장속도 및 골격계의 발달장애가 관찰되었으나(Mehard와 Volcani, 1972), 이에 대한 기전은 밝혀지지 않았으며 과노출시 호흡기계 장애(Schulz, 1993)를 비롯한 면역계, 간, 신장장애 발생(Steven 등, 1995) 등에 대해서도 논란중이다. 최근에는 실리콘과 알루미늄의 상호작용에 대한 연구를 통하여 체내에서  $silicic acid$ 가 알루미늄과 결합하여 위장관을 통한 알루미늄의 체내 흡수를 감소시키며 신장을 통한 알루미늄의 배설을 증가시킴으로써 체내 알루미늄의 함량을 감소시키는 것으로 알려져 있다(Dobbie와 Smith, 1982; Berlyne, 1986; Adler와 Berlyne, 1986; Hosokawa 등, 1987; Gitelman 등, 1992; Schulz, 1993; Steven, 1995)

이상의 내용에서, 연은 우리 나라에서 산업의학적 측면에서 대표적인 금속의 하나이고, 망간은 근래에 우리 나라에서 산업의학 및 사회의학적으로 문제가 되었던 금속이며, 알루미늄은 지각 성분중

비교적 풍부하게 존재함으로써 생활환경 하에서의 노출회수가 높을 뿐 아니라 치매 발생과의 관련성 때문에 최근에 환경의학의 영역에서 중요한 연구대상이 되고 있다. 그리고 실리콘( $silicic acid$ )은 체내의 알루미늄을 배설시키는 작용이 보고되어 알루미늄과 치매와의 관련 연구에 흔히 인용되고 있다. 이들에 대한 건강한 성인에서의 참고치의 조사는 연의 경우 조사시기 및 대상 등에 따라서 다양하게 보고되었으며 최근 참고치가 낮아지는 경향을 보이고, 망간, 알루미늄 및 실리콘에 대한 조사는 미흡한 실정이다. 이러한 연유로 저자는 연, 망간, 알루미늄 및 실리콘에 대하여 건강한 성인을 대상으로 혈중 농도를 보고하고 고찰함으로써 이들 물질에 의한 인체장애의 평가와 효율적인 예방관리에 일조하고자 본 연구를 실시하였다.

## 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

부산의 모 대학병원 종합검진센터에서 매년 정기 건강검진을 받고 있는 성인을 대상으로 미리 직접 설문을 통해 연구결과에 영향을 미칠 수 있는 직업력 및 질병력을 지닌 자와 흡연자를 제외한 132명을 연구대상자로 선정하였다. 이들의 성별 분포는 남, 여 각각 67명(50.8%)과 65명(49.2%)이었고, 연령별 분포는 39세 이하군, 40~49세군, 50세 이상군이 각각 51명(38.7%), 37명(28.0%), 44명(33.3%)이었다(Table 1).

### 2. 실험방법 및 자료분석

혈중 연의 분석은, 혈액 약 5 mL를 헤파린 처리된 vacutainer에 채혈하여 4℃에서 냉장보관하였으며, 이 전혈을 0.5% Triton X-100 용액과 1%  $(NH_4)_2HPO_4$ 의 혼합용액으로 20배 희석하여 20  $\mu L$ 를 graphite furnace 원자흡광 분광광도계(atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-5700, Japan)로 정량분석하였다. 분석조건은 파장 283.3 nm, slit width 1.3 nm, 건조온도 120℃로 50초간, 회화

**Table 1.** Distribution of subject by age group

Age (years)	Male (%)	Female (%)	Total (%)
~ 39	29 (22.0)	22 (16.7)	51 (38.7)
40 ~ 49	18 (13.6)	19 (14.4)	37 (28.0)
50 ~	20 (15.2)	24 (18.1)	44 (33.3)
Total	67 (50.8)	65 (49.2)	132 (100)

**Table 2.** Blood lead concentration of subject by age group (Unit:  $\mu\text{g}/\text{dL}$ )

Age (years)	Male	Female	Total
~ 39	(3.34, 1.49)*	(2.88, 1.64)	(3.08, 1.59)
40 ~ 49	(3.54, 1.73)	(3.16, 1.65)	(3.35, 1.70)
50 ~	(3.00, 1.74)	(3.05, 1.67)	(3.03, 1.70)
Total	(3.49, 1.70)	(3.04, 1.65)	(3.20, 1.69)

\*, (geometric mean, geometric standard deviation)

온도 550 °C에서 30초간, 원자화온도 2400 °C에서 10초간, cleaning 온도 2700 °C에서 4초간 4단계로 하였다(Selander 등, 1970; Fremandez 등, 1975).

혈중 망간의 분석은, 혈액 약 5 mL를 헤파린 처리된 vacutainer에 채혈하여 4 °C에서 냉장보관하였으며, 이 전혈을 0.5 % Triton X-100 용액으로 10배 희석하여 20  $\mu\text{L}$ 를 graphite furnace 원자흡광 분광광도계(atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-5700, Japan)로 정량 분석하였다. 분석조건은 파장 279.6 nm, slit width 0.4 nm, 건조온도 80~140 °C로 40초간, 회화온도 500 °C에서 10초간, 1100 °C에서 10초간, 원자화온도 2300 °C에서 5초간, cleaning 온도 2500 °C에서 4초간 5단계로 하였다(Uchida, 1986).

혈중 알루미늄의 분석은, 혈액 약 7 mL를 no additive vacutainer에 채혈하여 원심분리시킨 후 상층액인 혈청을 따로 분리하여 -20 °C에서 냉동보관하였으며, 이를 0.1 %  $\text{HNO}_3$  용액으로 3배 희석하여 20  $\mu\text{L}$ 를 graphite furnace 원자흡광 분광광도계(atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-5700, Japan)로 정량 분석하였다. 분석조건은 파장 309.3 nm, slit width 0.7 nm, 건조온도 80~140 °C에서 40초간, 회화온도 700 °C에서 20초간, 원자화온도 2700 °C에서 5초간, cleaning 온도 2800 °C에서 4초간 4단계로 하였다(Candy와 Kanis, 1983).

혈중 실리콘의 분석은 혈액 약 7 mL를 no additive vacutainer에 채혈하여 원심분리시킨 후 상층액인 혈청을 따로 분리하여 -20 °C에서 냉동보관하였으며, 이를  $\text{HNO}_3$  10 mL/L로 희석하여 최종농도가 0~2030.9  $\mu\text{g}/\text{L}$ 가 되게 하여, direct current plasma optical emission spectrometer IIIa (ARL, Luton, UK)를 maximum signal-to-noise ratio로 setting 하고, silicon emission line은 251.61 nm에서 분석하였다(Roberts와 Williams, 1990; Haese, 1995).

분석은 본 산업의학연구소에서 수행되었다. 본 연구소는 산업안전공단에서 매년 2회 실시하는 외부정도관리 중 연과 망간에 대해서 수년간 적합 판정을 받아왔다. 알루미늄과 실리콘에 대해서는 혈중 표준시약(NIST사, 미국)을 구입하여 자체 정도관리를 수행하였고 영국의 리버풀 대학 및 국내의 2개 분석기관과 cross check를 수행하여 분석의 정확성을 기하였다.

각 시료에 대하여 동일 조건으로 3회 반복 측정하여 평균값을 측정치로 하였으며, SAS Windows 6.12 통계 프로그램을 이용하여 Shapiro-Wilk test로 분포를 확인한 후, 모수통계로는 t-test와 ANOVA 및 Duncan 사후검정을 실시하였고, 비모수통계로는 Willcoxon rank sum test 와 Kruskal-Wallis test를 실시하였다. 정규성 여부를 판단하기 어려울 경

우에는 모수 및 비모수 통계를 함께 수행하였다.

## 연구성적

### 1. 혈중 연량

혈중 연량은 로그정규분포를 보였으며, 성별 혈중 연량(기하평균, 기하표준편차)은 남자군(3.49, 1.70)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 여자군(3.04, 1.65)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 남자군에서 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 연령별로는 남자군에서 39세 이하군, 40~49세군, 50세 이상군의 혈중 연량이 각각 (3.34, 1.49)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , (3.54, 1.73)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , (3.00, 1.74)  $\mu\text{g}/\text{dL}$  이었고, 여자군에서는 각각 (2.88, 1.64)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , (3.16, 1.65)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , (3.05, 1.67)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 남녀 모두 연령별로 유의한 차이가 없었다(Table 2).

### 2. 혈중 망간량

혈중 망간량은 로그변환, 지수변환 등 여러 가지 변환을 시도해 보았으나 확실한 분포양상을 보이지 않았으며 산술평균을 이용하는 것이 가장 타당하였다. 성별 혈중 망간량은 남자군  $0.98 \pm 0.38 \mu\text{g}/\text{dL}$ , 여자군  $1.00 \pm 0.44 \mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 유의한 차이가 없었으며, 연령별로는 남자군에서 39세 이하군, 40~49세군, 50세 이상군이 각각  $0.95 \pm 0.46 \mu\text{g}/\text{dL}$ ,  $0.83 \pm 0.35 \mu\text{g}/\text{dL}$ ,  $1.21 \pm 0.58 \mu\text{g}/\text{dL}$ 이었고, 여자군에서는 각각  $0.83 \pm 0.39 \mu\text{g}/\text{dL}$ ,  $1.08 \pm 0.55 \mu\text{g}/\text{dL}$ ,  $0.96 \pm 0.39 \mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 남녀 모두 연령별로 유의한 차이가 없었다(Table 3).

### 3. 혈중 알루미늄량

혈중 알루미늄량 역시 특별한 분포를 보이지 않았으며 산술평균을 이용하는 것이 가장 타당하였다. 성별 혈중 알루미늄량은 남자군  $0.59 \pm 0.39 \mu\text{g}/\text{dL}$ , 여자군  $0.56 \pm 0.28 \mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 유의한 차이가 없었으며, 연령별로는 남자군에서 39세 이하군, 40~49세군, 50세 이상군이 각각  $0.59 \pm 0.46 \mu\text{g}/\text{dL}$ ,  $0.56 \pm 0.37 \mu\text{g}/\text{dL}$ ,  $0.63 \pm 0.27 \mu\text{g}/\text{dL}$ 이었고 여자군에서도 각각  $0.57 \pm 0.30 \mu\text{g}/\text{dL}$ ,  $0.57 \pm 0.24 \mu\text{g}/\text{dL}$

**Table 3.** Blood manganese concentration of subject by age group(Unit:  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , mean $\pm$ S.D)

Age (years)	Male	Female	Total
~ 39	0.95 $\pm$ 0.46	0.83 $\pm$ 0.39	0.89 $\pm$ 0.43
40 ~ 49	0.83 $\pm$ 0.35	1.08 $\pm$ 0.55	1.00 $\pm$ 0.49
50 ~	1.21 $\pm$ 0.58	0.96 $\pm$ 0.39	1.03 $\pm$ 0.35
Total	0.98 $\pm$ 0.38	1.00 $\pm$ 0.44	0.99 $\pm$ 0.41

**Table 4.** Blood aluminium concentration of subject by age group(Unit:  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , mean $\pm$ S.D)

Age (years)	Male	Female	Total
~ 39	0.59 $\pm$ 0.46	0.57 $\pm$ 0.30	0.59 $\pm$ 0.40
40 ~ 49	0.56 $\pm$ 0.37	0.57 $\pm$ 0.24	0.56 $\pm$ 0.32
50 ~	0.63 $\pm$ 0.27	0.50 $\pm$ 0.29	0.59 $\pm$ 0.28
Total	0.59 $\pm$ 0.39	0.56 $\pm$ 0.28	0.59 $\pm$ 0.35

**Table 5.** Blood silicon concentration of subject by age group(Unit:  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , mean $\pm$ S.D)

Age (years)	Male	Female	Total
~ 39	47.58 $\pm$ 22.38	45.34 $\pm$ 22.67	46.54 $\pm$ 22.23
40 ~ 49	53.51 $\pm$ 26.02	42.49 $\pm$ 29.43	49.84 $\pm$ 27.16
50 ~	75.17 $\pm$ 35.36*	33.28 $\pm$ 14.01	63.20 $\pm$ 36.02
Total	54.41 $\pm$ 27.64**	43.34 $\pm$ 23.51	50.01 $\pm$ 26.49

\*, p&lt;0.05 (significantly different between age groups in male by ANOVA and Duncan test)

\*\*, p&lt;0.05 (significantly different between male and female groups by t-test)

/dL, 0.50 $\pm$ 0.29  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 남녀 모두 연령별로 유의한 차이가 없었다(Table 4).

#### 4. 혈중 실리콘량

혈중 실리콘량 역시 특별한 분포를 보이지 않았으며 산술평균을 이용하는 것이 가장 타당하였다. 성별 혈중 실리콘량은 남자군 54.41 $\pm$ 27.64  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 여자군 43.34 $\pm$ 23.51  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 남자군에서 유의하게 높았으며(p<0.05), 연령별로는 남자군에서 39세 이하군, 40~49세군, 50세 이상군이 각각 47.58 $\pm$ 22.38  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 53.51 $\pm$ 26.02  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 75.17 $\pm$ 35.36  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 50세 이상군이 다른 두 군에 비해서 유의하게 높았다(p<0.05). 여자군에서는 각각 45.34 $\pm$ 22.67  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 42.49 $\pm$ 29.43  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 33.28 $\pm$ 14.01  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 연령이 증가함에 따라서 감소하였으나 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Table 5).

#### 고 찰

성인의 연노출은 주로 호흡기를 통해서 이루어지며, 체내에 흡수된 연은 적혈구와 결합하여 이동되며 신장을 통해 요로 배설되고, 주요 축적 장기는 골조직이다. 적혈구 및 기타조직에 존재하는 연의 반감기는 30~40일 정도이나 골조직에 저장된 연은 약 20~30년의 반감기를 가지며(Zens 등, 1994), 연에 의한 인체 독성은 노출량에 따라서 조혈계, 신경계, 간 및 신장, 심혈관계, 생식기계 등에서 다양하게 나타난다.

본 조사대상자들의 혈중 연량(기하평균, 기하표준편차)은 남, 여 각각 (3.49, 1.70)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 와 (3.04, 1.65)  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 이었다. 각 연구의 대표치를 산술평균인 경우도 있고 기하평균인 경우도 있지만 그 경향을 보면, 유정식(1982)이 19세 전후의 남자 160명을 대상으로 발표한 22.2  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 안규동 등(1982)이 연축전지 제조업에 취

업하려는 근로자로서 연 노출 경험이 전혀 없는 건강한 남녀 101명을 대상으로 보고한 17.5  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 김정만 등(1984)이 건강한 605명을 대상으로 보고한 남자 23.00  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 와 여자 22.93  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 김준연 등(1985)이 대학생 120명을 대상으로 보고한 남자 16.67  $\mu\text{g}/\text{dL}$  및 여자 16.29  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 김정만 등(1986)이 연제련 산업장에서 연을 취급하지 않는 부서에 종사하는 115명을 대상으로 보고한 35.62  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 신해림 등(1986)이 공무원 및 사립학교 교직원을 대상으로 보고한 남자 18.56  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 여자 15.67  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 김준연 등(1989)이 도시지역의 건강한 성인 남녀를 대상으로 보고한 남자 14.87  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 여자 12.90  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 황규운 등(1991)이 사무직 남자 근로자 56명을 대상으로 보고한 18.70  $\mu\text{g}/\text{dL}$  등의 성적에 비하여 훨씬 낮은 농도이었다. 그 이후 김강운 등(1993)이 직업적으로 연에 폭로되지 않은 사무직 근로자와 일반인을 대상으로 보고한 8.98  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 정갑열 등(1996)의 도시지역 거주민 남자 7.77  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 여자 6.46  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 농촌지역 거주민 남자 7.11  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 와 여자 6.46  $\mu\text{g}/\text{dL}$  및 홍영섭(1997)이 포항지역 철강공단 내에서 망간을 포함한 신경독성을 나타내는 물질을 사용하지 않는 업체 종사자 112명을 대상으로 보고한 5.35  $\mu\text{g}/\text{dL}$  등으로 현저히 감소하였으며, 이미 정 등(1995)이 농촌지역에 거주하는 20세 이상의 성인 남녀 201명을 대상으로 보고한 3.24  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 와 본 연구의 성적은 비슷하였다. 한편, 외국의 경우 Kubota 등(1968)은 13.17  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , Mahaffey 등(1982)은 13.9  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , Watanabe 등(1985)은 6.0  $\mu\text{g}/\text{dL}$  등으로 각각 보고하여, 본 성적에 비해서는 높았으나 그들과 동일 시기의 국내의 타 연구자들의 성적보다는 낮았다. 그러나 Watanabe 등(1986)이 일본 농촌지역 주민을 대상으로 보고한 4.04  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 와 본 성적은 비슷하였고, Butt 등(1964)의 2.25  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 와 최근에 Brody 등(1994)이 미국인을 대상으로 보고한 2.8  $\mu\text{g}/\text{dL}$  등은 본 성적에 비하여 낮은 농도를 나타내었는데(Fig. 1), 이는 선진국의 경우 연에 대한 관심의 조기 확산에

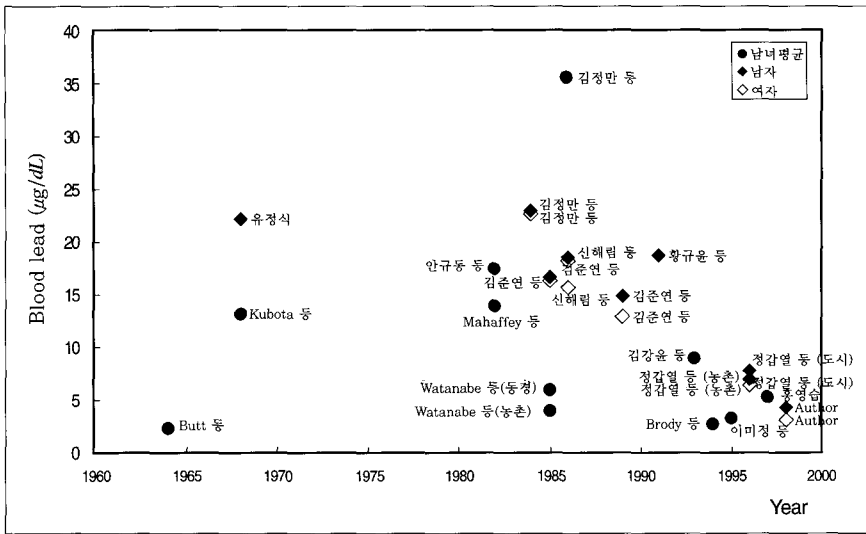


Figure 1. Blood lead concentrations of researchers (1960s-1990s).

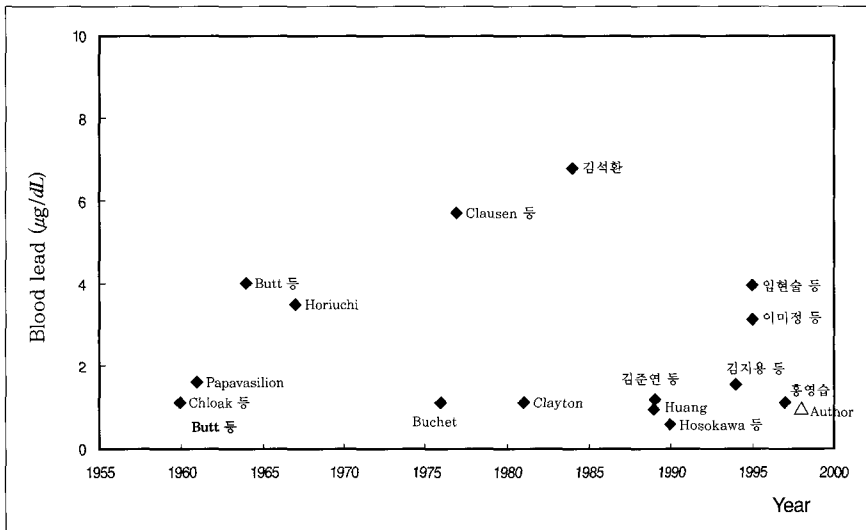


Figure 2. Blood manganese concentrations of researchers (1960s-1990s).

따른 적절한 관리의 결과로 사료된다. 혈중 연량의 경우 대상지역의 대기오염 정도와 조사대상자들의 식습관, 직업, 흡연 및 개인의 감수성 등에 따라서 차이를 나타낼 수 있으나, 본 조사와 다른 연구들의 결과를 종합하여 비교하면 우리나라 성인의 혈중 연량이 점차 낮아지는 경향을 알 수 있다. 이와 같이 우리나라 성인의 혈중 연량이 저하된 이유는 여러 가지가 있을 수 있겠으나, 그 중 특히 근년에 자동차에 무연휘발유의 사용이 증대되고, 산업장의 각종 규제 강화 등에 따른 노출기회의 감소가 주요인으로 사료된다. 본 연구에서 혈중 연량이 남자군에서 높은 것은 다른 연구결과(신해림과 김준연, 1986; 김준연 등, 1989)와 일치하였으며, 연령별 차이는 관찰되지 않았다. 이는 직업 및 사회경제적인 활동에 따른 연 노출량의 차이 및 개인의 감수성에 기인한 것으로 사료된다. 망간은 음식물 및 공기를 통해서 주로 흡수되고 일부는 피부를 통해서 흡수되고(Last 등, 1998), 혈중에서 적혈구와 결합하여 이동하여 간을 통해 담즙으로 주로 배설된다. 주요 저장장기는 미토콘드리아가 풍부한 채장, 간장, 신장 등이며, 특히 망간은 혈액-뇌 장벽을 통과하여 뇌에 침착되고 반감기가 상대적으로 길어서 장기간 뇌에 존재한다(Erikson 등, 1992). 망간의 체내 흡수는 철결핍시 증

가하고, 간, 신장과 폐의 기능, 영양상태, 알콜중독 및 개인의 감수성에 따라서 영향을 받으므로, 이러한 인자의 영향에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다. 본 조사대상자들의 혈중 망간은  $0.99 \pm 0.41 \mu\text{g/dL}$ 이었고 성별로는 남자  $0.98 \pm 0.38 \mu\text{g/dL}$ , 여자  $1.00 \pm 0.44 \mu\text{g/dL}$ 로서 차이가 없었으며 연령별 차이도 관찰되지 않았다. 이전의 연구성과 비교하면, Papavasilion(1961)의  $1.6 \mu\text{g/dL}$ , Butt 등(1964)의  $4.0 \mu\text{g/dL}$ , Horiuchi(1967)의  $3.5 \mu\text{g/dL}$ , Clausen 등(1977)의  $5.7 \mu\text{g/dL}$ , 김석환(1984)의  $6.8 \mu\text{g/dL}$ , 김지용 등(1994)의 망간 노출 사업장에 근무하는 남자 대조군의  $1.56 \mu\text{g/dL}$ , 임현술 등(1995)이 망간 노출군과 동일 사업장에 근무하는 여성 근로자를 대상으로 한  $3.94 \mu\text{g/dL}$ 와 이미정 등(1995)등의  $3.17 \mu\text{g/dL}$  등에 비해 낮은 값을 나타낸 바, 이는 조사대상의 차이에 의한 점도 무시할 수 없겠으나 분석방법의 차이에서 기인한 점이 클 것으로 사료된다. 반면에 Chloak 등(1960)의  $1.1 \pm 0.1 \mu\text{g/dL}$ , Buchet 등(1976)의  $0.6 \sim 1.6 \mu\text{g/dL}$ , Clayton(1981)의  $1.1 \mu\text{g/dL}$ , Huang(1989)의  $0.7 \sim 1.2 \mu\text{g/dL}$ , 김준연 등(1989)이 도시지역의 건강한 성인 남녀를 대상으로 보고한 남자  $1.19 \mu\text{g/dL}$ , 여자  $1.20 \mu\text{g/dL}$ , Hosokawa 등(1990)의  $0.6 \mu\text{g/dL}$  및 홍영섭(1997)의  $1.12 \mu\text{g/dL}$  등의 성적과 본 조사 결과는 거의 일치하였다(Fig. 2). 공기중에 망간이  $1 \mu\text{g/m}^3$ 의 저농도로 존재하여도 정상 성인의 경우 1일  $0.01 \sim 0.02 \text{ mg}$ 정도가 폐를 통하여 흡입되므로 차이가 있을 것이다. 알루미늄의 노출은 호흡기를 통한 흡입과 소화기를 통한 섭취로서 이루어진다. 경구 섭취된 알루미늄의 경우 위장관에서 약 1~2% 정도가 흡수되고, 대부분이 신장을 통하여 요로, 일부는 담즙을 통해 대변으로 배설된다. 체내로 흡수된 알루미늄은 혈액에서 알부민과 트랜스페린(transferrin) 등의 단백질과 결합하여 존재하거나 이동하고, 조직내 저장은 주로 골조직, 근육, 신경조직(뇌) 등에서 이루어진다(Vander와 Wolff, 1985).

가하고, 간, 신장과 폐의 기능, 영양상태, 알콜중독 및 개인의 감수성에 따라서 영향을 받으므로, 이러한 인자의 영향에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다.

본 조사대상자들의 혈중 망간은  $0.99 \pm 0.41 \mu\text{g/dL}$ 이었고 성별로는 남자  $0.98 \pm 0.38 \mu\text{g/dL}$ , 여자  $1.00 \pm 0.44 \mu\text{g/dL}$ 로서 차이가 없었으며 연령별 차이도 관찰되지 않았다. 이전의 연구성과 비교하면, Papavasilion(1961)의  $1.6 \mu\text{g/dL}$ , Butt 등(1964)의  $4.0 \mu\text{g/dL}$ , Horiuchi(1967)의  $3.5 \mu\text{g/dL}$ , Clausen 등(1977)의  $5.7 \mu\text{g/dL}$ , 김석환(1984)의  $6.8 \mu\text{g/dL}$ , 김지용 등(1994)의 망간 노출 사업장에 근무하는 남자 대조군의  $1.56 \mu\text{g/dL}$ , 임현술 등(1995)이 망간 노출군과 동일 사업장에 근무하는 여성 근로자를 대상으로 한  $3.94 \mu\text{g/dL}$ 와 이미정 등(1995)등의  $3.17 \mu\text{g/dL}$  등에 비해 낮은 값을 나타낸 바, 이는 조사대상의 차이에 의한 점도 무시할 수 없겠으나 분석방법의 차이에서 기인한 점이 클 것으로 사료된다. 반면에 Chloak 등(1960)의  $1.1 \pm 0.1 \mu\text{g/dL}$ , Buchet 등(1976)의  $0.6 \sim 1.6 \mu\text{g/dL}$ , Clayton(1981)의  $1.1 \mu\text{g/dL}$ , Huang(1989)의  $0.7 \sim 1.2 \mu\text{g/dL}$ , 김준연 등(1989)이 도시지역의 건강한 성인 남녀를 대상으로 보고한 남자  $1.19 \mu\text{g/dL}$ , 여자  $1.20 \mu\text{g/dL}$ , Hosokawa 등(1990)의  $0.6 \mu\text{g/dL}$  및 홍영섭(1997)의  $1.12 \mu\text{g/dL}$  등의 성적과 본 조사 결과는 거의 일치하였다(Fig. 2). 공기중에 망간이  $1 \mu\text{g/m}^3$ 의 저농도로 존재하여도 정상 성인의 경우 1일  $0.01 \sim 0.02 \text{ mg}$ 정도가 폐를 통하여 흡입되므로 차이가 있을 것이다. 알루미늄의 노출은 호흡기를 통한 흡입과 소화기를 통한 섭취로서 이루어진다. 경구 섭취된 알루미늄의 경우 위장관에서 약 1~2% 정도가 흡수되고, 대부분이 신장을 통하여 요로, 일부는 담즙을 통해 대변으로 배설된다. 체내로 흡수된 알루미늄은 혈액에서 알부민과 트랜스페린(transferrin) 등의 단백질과 결합하여 존재하거나 이동하고, 조직내 저장은 주로 골조직, 근육, 신경조직(뇌) 등에서 이루어진다(Vander와 Wolff, 1985).

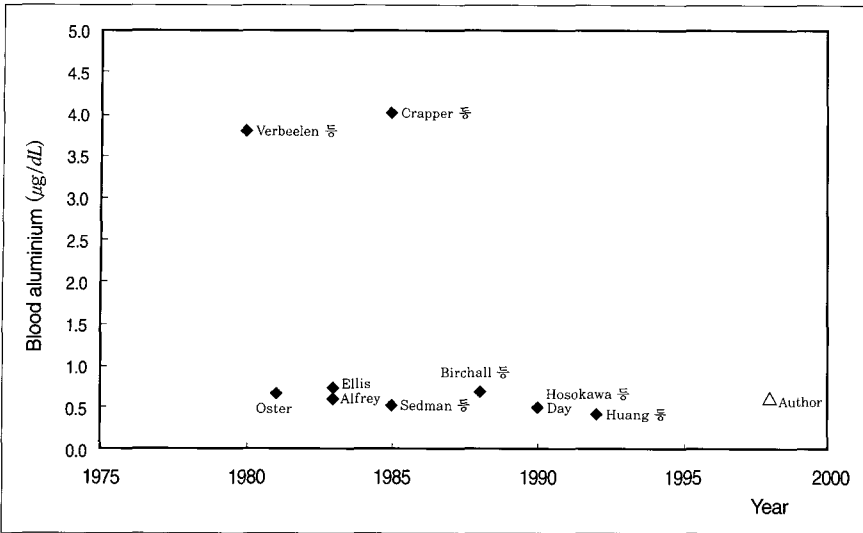


Figure 3. Blood aluminium concentrations of researchers 91980s-1990s).

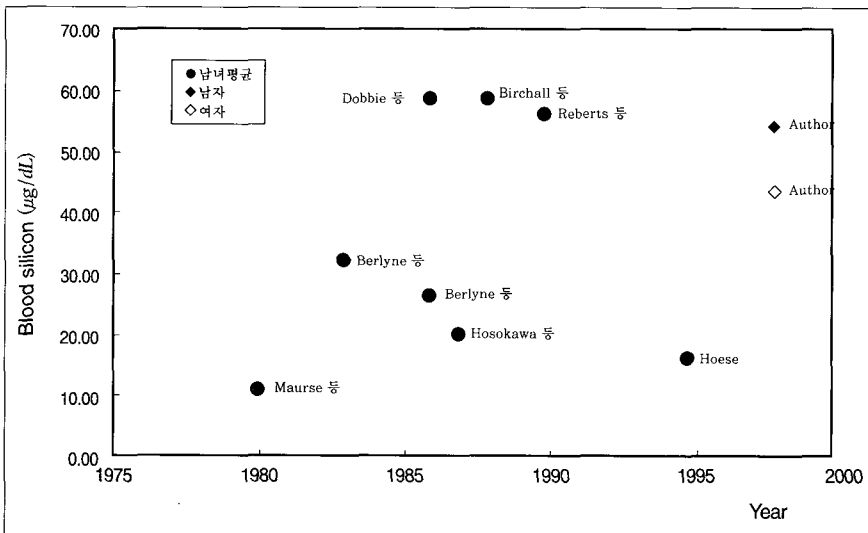


Figure 4. Blood silicon concentrations of researchers 91980s-1990s).

알루미늄의 노출로 호흡기계, 신경계, 골격계 및 조혈계의 장애가 보고되고 있으나(Chan 등, 1983; Last 등, 1998), 이들의 대부분은 산업장에서의 직업적 노출 혹은 소화성 궤양이나 만성 신장염 등의 치료에 연관된 알루미늄의 체내흡수에 의한 것이고 환경적 노출에 의한 인체장애에 대한 보고는 없는 실정이다.

조사대상자들의 혈중 알루미늄의 농도는  $0.59 \pm 0.35 \mu\text{g/dL}$ 이었으며, 혈중 알루미늄의 참고치에 대한 국내 연구는 전무한 실정이므로 외국의 연구와 비교하면 Verbeelen 등(1980)의  $3.8 \mu\text{g/dL}$ , Crapper 등(1985)의  $4.0 \mu\text{g/dL}$  보다는 낮았

으나, Oster 등(1981)의  $0.68 \mu\text{g/dL}$ , Ellis(1983)의  $0.73 \mu\text{g/dL}$ , Alfrey(1983)의  $0.6 \mu\text{g/dL}$ , Sedman 등(1985)의  $0.52 \mu\text{g/dL}$ , Birchall 등(1988)의  $0.68 \mu\text{g/dL}$ , Hosokawa 등(1990)의  $0.5 \mu\text{g/dL}$ , Day(1990)의  $0.5 \mu\text{g/dL}$  및 Huang 등(1992)의  $0.41 \mu\text{g/dL}$ 와는 거의 일치하였다(Fig. 3). 혈중 알루미늄의 성별 평균치는 남, 여 각각  $0.59 \pm 0.39 \mu\text{g/dL}$ 와  $0.56 \pm 0.28 \mu\text{g/dL}$ 로서 유의한 차이는 관찰되지 않았고, 연령군별로도 유의한 차이는 없었다. 혈중 알루미늄의 경우 연령이 증가할수록 증가되는 양상이 있다는 보고도 있으나(Chan 등, 1983) 본 조사 결과

는 연령에 따른 증가가 관찰되지 않았다.

인체의 실리콘 노출은 섭취 혹은 흡입을 통해 이루어지며, 체내에 흡수된 실리콘은 신장을 통해서 용해성 실리케이트의 형태로 배설되고 혈중에서는 silicic acid(soluble silicate,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ )의 형태로 존재한다. 흡입 및 섭취된 실리콘의 어느 정도가 체내로 흡수되는지, 흡수된 실리콘이 간, 신장, 비장 등의 결합조직에서 관찰되나 이들의 표적장기 및 주저장장기에 대해서는 알려져 있지 않다. 실리콘의 알루미늄 흡수에 대한 관련성 여부는 Alzheimer's disease에서 aluminosilicate plaque가 발견되어 실리콘이 알루미늄의 배설과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려졌다(Birchall과 Chappell, 1988), 특히 투석환자 및 제산제 과복용 환자를 대상으로 실시한 연구에 의하면 체내에서 silicic acid는 알루미늄과 결합하여 위장관을 통한 알루미늄의 흡수를 감소시키고 신장을 통한 알루미늄의 배설(hydroxy aluminosilicate의 형태)을 증가시킴으로써 체내 알루미늄의 함량을 감소시키는 것으로 알려져 있다(Hosokawa 등, 1987; Berlyne 등, 1986; Adler와 Berlyne, 1986; Gitelman 등, 1992; Dobbie와 Smith, 1982). 즉, 실리콘은 알루미늄의 길항제로 작용함으로써 알루미늄의 체내 축적을 예방한다고 알려져 있다.

한편 혈중 실리콘의 농도는  $50.01 \pm 26.49 \mu\text{g/dL}$ 이었고 성별로는 남, 여에서 각각  $54.41 \pm 27.64 \mu\text{g/dL}$ ,  $43.34 \pm 23.51 \mu\text{g/dL}$ 로서 남자군에서 유의하게 높았으며, 연령군별로는 남자군에서 39세 이하군이  $47.58 \pm 22.38 \mu\text{g/dL}$ , 40-49세 군이  $53.51 \pm 26.02 \mu\text{g/dL}$ , 50세 이상군이  $75.17 \pm 35.36 \mu\text{g/dL}$ 로서 50세 이상군이 유의하게 높았다. 국내에는 혈중 실리콘 농도에 대한 연구는 거의 전무한 실정이므로 외국의 연구 결과와 비교해 보면 Dobbie 등(1986)의  $58.8 \mu\text{g/dL}$ , Birchall 등(1988)의  $58.99 \mu\text{g/dL}$ , Roberts 등(1990)의  $56.18 \mu\text{g/dL}$ 와는 거의 일치하였고 Mause 등(1980)의  $10.9 \mu\text{g/dL}$ , Berlyne 등(1983)의  $32.2 \mu\text{g/dL}$ , Berlyne 등(1986)의  $26.3 \mu\text{g/dL}$ , Hosokawa 등

(1987) 20  $\mu\text{g/dL}$ , Haese(1995)의 16.1  $\mu\text{g/dL}$  보다는 높았다(Fig. 4). 이는 조사시기와 조사대상자들 및 분석방법의 차이에도 기인하겠지만 특히 식습관이나 음용수에 의한 차이도 무시할 수 없을 것이다. 성별과 남자에서 연령별로 차이를 보인 것에 대해서는 추후 더 많은 연구를 통해 원인을 연구해 보아야 할 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점으로는 연을 제외하고는 각 금속의 혈중농도의 분포를 정확하게 파악하지 못한 것이다. 여러 가지 변환을 시도하여 분포를 검정해 보았지만 정확한 분포는 알 수 없었으며, 이전의 여러 참고문헌에서 대부분 산술평균을 이용하였고 본 연구에서도 산술평균이 가장 타당하여 산술평균을 이용하였다.

본 연구는 국내에서 문제가 되고 있는 금속의 참고치 설정을 위한 기초 연구의 일환으로서 몇 가지 금속의 혈중 농도를 알아보고 연도별로 고찰하여 본 것으로 앞으로의 연구에 기초자료로서 활용함으로써 이들 물질에 의한 인체장해의 평가와 예방관리에 일조할 수 있을 것으로 생각된다.

## 요 약

연, 망간, 알루미늄 및 실리콘에 대하여 직업적 노출이 없는 성인 132명(남성 67명, 여성 65명)을 대상으로 혈중 농도를 정량분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

평균 혈중 연량(기하평균, 기하표준편차)은 남자군 (3.49, 1.70)  $\mu\text{g/dL}$ 와 여자군 (3.04, 1.65)  $\mu\text{g/dL}$ 로서 남자군에서 높았으나 유의한 차이는 없었고, 연령군별로는 남, 여 모두 차이가 없었다. 평균 혈중 망간량은  $0.99 \pm 0.41 \mu\text{g/dL}$ 이었으며, 성별, 연령군별 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 평균 혈중 알루미늄량은  $0.59 \pm 0.35 \mu\text{g/dL}$ 이었으며, 성별, 연령군별 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 평균 혈중 실리콘량은 남자군  $54.11 \pm 27.64 \mu\text{g/dL}$ , 여자군  $43.34 \pm 23.51 \mu\text{g/dL}$ 로서 남자군에서 유의하게 높았고( $p < 0.05$ ), 남자군의 경우 연령이 증가함에 따라 유의한 증가가 관찰되었으나( $p < 0.05$ ), 여자군의 경우

에는 연령군별로 차이가 없었다.

본 연구는 몇 가지 금속의 참고치 설정을 위한 기초 연구의 일환으로 앞으로의 연구에 자료로서 활용함으로써 이들 물질에 의한 인체장해의 평가와 예방관리에 일조할 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고문헌

김강운, 김현욱. 정상인에서 혈중연과 zinc protoporphyrin과의 상관관계 및 HPLC와 Hematofluorometer로 측정된 zinc protoporphyrin량의 비교. 한국산업위생학회지 1993; 3: 141-151

김석환. 농촌지역 주민들의 혈중 미량 금속의 분포에 관한 조사. 충남대학교 의학박사학위 청구논문 1984.

김정만, 김형아, 이광목, 이은영, 강재복. 연제련 작업자들에서의 혈색소, 혈중연 및 혈중 zinc protoporphyrin에 관한 연구. 한국의 산업의학 1986; 25: 1-8

김정만, 이광목. 연폭로의 생물학적 지표로서 혈중 ZPP치의 의의. 카톨릭대학 의학부 논문집 1984; 37: 936-944

김준연, 김정만, 김용규, 박가식, 문덕환 등. 도시지역의 건강한 성인의 혈중 중금속 농도 및 분포에 관한 연구. 부산의사회지 1989; 25: 23-42

김준연, 이채연, 전진호. 연취급 근로자들의 생화학적 검사에 관한 연구. 인제의학 1985; 6: 427-436

김지용, 임현술, 정해관. 일부 망간 취급근로자의 망간 폭로 및 건강위해에 관한 연구. 대한산업의학회지 1994; 6: 98-112

노동부. 노동통계연감, 제 27회. 성진 문예사, 서울; 1997.(407쪽).

신해림, 김준연. 연폭로 지표들의 정상치에 관한 연구. 대한예방의학회지 1986; 19: 165-203

안규동, 김영희. 무기연 폭로시 혈중연과 요중연의 변화. 한국의 산업의학 1982; 21: 11-21

유정식. 연중독에 관한 연구, 공중보건잡지 1968; 5: 129-138

이미정, 문덕환, 조영하, 이종태, 한용수 등. 일부 농촌지역 주민들의 혈청에 함유된 중금속의 농도. 인제의학 1995; 16: 311-325

임현술, 김지용, 정해관. 망간 취급 여성근로자의 망간폭로 및 건강위해에 관한 연구. 예방의학회지 1995; 28: 406-420

정갑열, 김병권, 홍영섭, 이용연, 김준연. 우리나라 도시와 농촌지역 주민의 혈중연 및 혈중 ZPP농도 비교 연구. 동야의대학술지 1996; 8: 53-61

홍영섭. 연강/아크용접 근로자들의 뇌자기공명 영상에서 관찰된 고신호 강도의 임상적 의의에 관한 연구. 동아대학교 의학박사학위 청구논문, 1997.

황규윤, 안재연, 안규동, 이병국, 김정순. 저농도 연폭로에서 혈중 연농도와 자각증상과의 관계. 예방의학회지 1991; 24: 181-194

Adler AJ, Berlyne GM. Silicon Metabolism I. Renal handling in chronic renal failure patients. *Nephron* 1986; 44: 36-39

Alfrey AC. aluminium. *Adv Clin Chem* 1983; 23: 69-91

Berlyne GM, Adler AJ, Ferran N. Silicon Metabolism I. Bome aspects of renal silicon handling in normal man. *Nephron* 1986; 43: 5-9

Berlyne GM, Caruso C. Measurement of silicon in biological fluids in man using flameless furnace atomic absorption spectrophotometry. *Clin Chim Acta* 1983; 129: 239-244

Birchall JD, Chappell JS. The Chemistry of aluminium and Silicon in Relation to Alzheimer's Disease. *Clin Chem* 1988; 34: 265-267

Bjorksten JA. Dietary aluminium and Alzheimer's disease. *Sci Total Environ* 1982; 25: 81-86

Brody DJ, Pirkle JL, Kramer RA, Flegal KM, Matte TD et al. Blood lead level in the US population. *JAMA* 1994; 272: 277-283

Buchet JP. Determination of manganese in blood and urine by flameless atomic absorption spectrophotometry. *Clin Chim Acta* 1976; 73: 481-486

Butt EM, Nusbaum RE, Gilmour TC. Trace metal levels in human serum and blood. *Arch Environ Health* 1964; 8: 60-66

Candy JM, Kanis JA. Serum aluminium measurements in renal bone disease. *Lancet* 1983; 1: 1168-1173

Carlisle EM. Silicon an essential element for the chick. *Science* 1972; 178: 619-621

Center for Disease Control. Guidelines for the Prevention of Lead Poisoning in Children, Public Health Service. Atlanta; 1991

Chan YM, Wong R, MacLean L. Epidemiologic health study of workers in an aluminium smelter in British Columbia. *Am Rev Respir Dis* 1983; 127: 465-469

Cholak J, Hubbard DM. Determination of manganese in air and biological material. *Am Ind Hyg Assoc J* 1960; 21: 356-362

Clausen J, Rastogi SC. Heavy metal pollution among autoworkers II, cadmium, chromium, copper, manganese, and nickel. *Bri J Indust Med* 1977; 14: 216-220

Clayton GD. Patty's industrial hygiene and toxicology. Wiley-Interscience pub. New York; 1981

Crapper DG, Farnell BJ. Metal Ions in Neurology and Psychiatry. A R Liss, Inc. New York; 1985. p. 69-87.

- Day JP, Barker J, Evans LJA, Perks J, Seabright PJ et al. Aluminium absorption studied by <sup>26</sup>Al tracer. *Lancet* 1991; 237: 1345-1353
- Day JP. Biochemistry of aluminium in relation to the assessment of aluminium exposure in humans. *Environmental Geochemistry and Health* 1990; 12: 75-81
- Dobbie JW, Smith MJ. The silicon content of body fluids. *Scot Med J* 1982; 27: 17-19
- Dobbie JW, Smith MJ. Urinary and serum silicon in normal and uraemic individuals. *Ciba Found Symp* 1986; 121: 194-213
- Ellis HA. aluminium induced osteomalacia in patients with chronic renal failure and in animals. *Nieren-und Hochdruckkrankheiten. Jabrgang* 1983; 12: 198-206
- Erikson H, Tedroff J, Thuomas KA. Manganese induced brain lesions in Macaca fascicularis as revealed by positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Arch Toxicol* 1982; 66: 403-407
- Fernandez FZ. Micromethods for lead determination in whole blood by atomic absorption with use of the graphite furnace. *Clin Chem* 1975; 21: 558-561
- Foulton M, Thompson G, Hunter R. Influence of blood lead on the Edinburgh. *Lancet* 1987; 1: 1221-1226
- Gitelman HJ, Alderman FG, Perry SJ. Silicon accumulation in dialysis patients. *Am J Kidney Dis* 1992; 19: 140-143
- Gorsky JE, Dietz AA. Determination of aluminium in Biological Samples by Atomic Absorption Spectrophotometry with a Graphite Furnace. *Clin Chem* 1978; 24: 1485-1490
- Greger JL. Dietary and other sources of aluminium intake. *Aluminium in Biology and Medicine*, Chichester, Wiley. *Ciba Found Symp* 1992; 169: 26-49
- Haese PD. Increased silicon levels in dialysis patients due to high silicon content in the drinking water, in adequate water treatment procedures, and concentrate contamination: a multicentre study. *Nephrol Dial Transplant* 1995; 10: 1838-1844
- Horiuchi K. Manganese contents in the whole blood, urine and feces of a healthy Japanese population. *OSAKA City Med J* 1967; 13: 151-163
- Hosokawa S, Morigina M, Nishitani H. Silicon in chronic hemodialysis patients. *ASAID-Trans* 1987; 33: 260-264
- Hosokawa S, Oyamaguchi A, Yoshida O. Trace Elements and Complications in Patients Undergoing Chronic Hemodialysis. *Nephron* 1990; 55: 375-379
- Huang CC. Chronic manganese intoxication. *Arch Neurol* 1989; 46: 1104-1106
- Huang JY, Huang CC, Lim PS, Wu MS, Leu ML. Effect of body iron stores on serum aluminium level in hemodialysis patients. *Nephron* 1992; 61: 158-162
- Kubota J, Lazar VA, Losee F. Copper, zinc, cadmium and lead in human blood from 19 loctions in the United States. *Arch Environ Health* 1968; 16: 788-193
- Last JM, Wallace RB, Connor EB, Fielding JE, Frank AL, Scutchfield FD, Tyler CW, Wenzel RP. Maxcy-Rosenau-Last Public Health & Preventive Medicine. Prentice-Hall International Inc. 14th ed. USA; 1998: p.494-502
- Mahaffey KR, Anest JL, Roberts J, Murphy RS. National estimate of blood lead levels: USA. 1967-1980. *New England J Med* 1982; 307: 573-579
- Mehard CW, Volcani BE. Silicon-containing granules of rat liver, kidney and spleen mitochondria. *Cell Tissue Res* 1976; 174: 315-327
- Neri LC, Hewitt D, Johansen H. Health effects of low lead occupational exposure to lead. *Arch Environ Health* 1983; 38: 180-189
- Oster O. The aluminium content of human serum determined by atomic absorption spectroscopy with a graphite furnace. *Clin Chim Acta* 1981; 114: 53-60
- Papavasilion PS. Neutron activation analysis, the determination of manganese. *J Biol Chem* 1961; 236: 2356
- Pennington JAT. Silicon in foods and drinks. *Food Addit Contam* 1991; 8: 97-118
- Roberts NB, Williams P. Silicon measurement in serum and urine by direct current plasma emission spectrometry. *Clinical Chemistry* 1990; 36: 1460-1465
- Schulz CO. Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. John Wiley & Son Inc. 4th ed.; 1993. p. 831-841.
- Sedman AB, Klein GL, Merritt RJ, Miller NL. Weber KO et al. Evidence of aluminium Loading in Infants Receiving Intravenous Therapy. *New Engl J Med* 1985; 312: 1337-1343
- Selander S, Cramer K. Interrelationships between lead in blood, lead in urine and ALA in urine during lead work. *Br J Ind Med* 1970; 27: 28-39
- Spencer H, Kramer L, Norris C. Effect of small doses of aluminium-containing antacid on calcium and phosphorus metabolism. *Am J Clin Nutr* 1982; 36: 32-40
- Steven HY, Shanna S, Suazanne ST. Silicone breast implants: Immunotoxic and Epidemiologic Issues. *Life Sci* 1995; 56: 1299-1310
- Tonaka S, Lieben J. Manganese poisoning and exposure in Pennsylvania. *Arch Environ Health* 1969; 19: 674-684
- Uchida T. Simple and micro determination of manganese in serum by graphite furnace atomic absorption spectrophotometry. *Analytical Sciences* 1986; 2: 71-76
- Vander VGB, Wolff FA. Distribution of aluminium between plasma and erythrocytes. *Human Toxicol* 1985; 4: 643-648
- Verbeelen D, Smeyers VJ, Massart DL. aluminium (Al) containing antacids; Source of high serum Al levels in patients treated with regular hemodialysis. *Toxicol Lett* 1980; 1: 61-66
- Wallace RB, Doebbeling BN, Connor ELB, Baer K, Fielding JE, Rosenberg ML, Schechter AJ, Scutchfield FD, Tyler CW, Wenzel RP. Maxcy-Rosenau-Last Public Health & Preventive Medicine. 14th ed., Prentice-Hall International Inc. USA; 1998., p. 501
- Watanabe T, Fujita H, Koizumi A, Chiba K, Miyasaka M, Ikeda M. Baseline level of blood lead concentration among Japanese farmers. *Arch Environ Health* 1985; 40: 170-176
- Wilson JD, Braunwald E, Isselbacher KJ. Harrison's Principles of Internal Medicine. McGraw Hill. New York; 1991: p.443-445
- Zenz C, Dickerson OB, Horvath EP. Occupational Medicine. Year Book Medical Publishing. 2nd ed. Inc. Chicago; 1994: p.506-541