

## 초등학생들의 혈중 납(Pb)농도와 신경행동기능과의 관련성

경북대학교 대학원 보건학과<sup>1)</sup>, 경상북도 보건환경연구원<sup>2)</sup>, 경북대학교 의학전문대학원 예방의학교실<sup>3)</sup>,  
영남대학교 의과대학 예방의학교실<sup>4)</sup>, 영남대학교 의과대학 부속병원 산업의학과<sup>5)</sup>

박광섭<sup>1),2)</sup> · 박재용<sup>3)</sup> · 사공 준<sup>4),5)</sup>

— Abstract —

### Relationship between Blood Lead Concentration and Neurobehavioral Function of Children

Kwang Seub Park<sup>1),2)</sup>, Jae-Yong Park<sup>3)</sup>, Joon Sakong<sup>4),5)</sup>

*Department of Public Health, Graduate School, Kyungpook National University, Daegu, Korea<sup>1)</sup>,*

*Gyeongsangbukdo Government Public Institute of Health and Environment<sup>2)</sup>,*

*Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine, Kyungpook National University, Daegu, Korea<sup>3)</sup>,*

*Department of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Yeungnam University, Daegu, Korea<sup>4)</sup>,*

*Department of Occupational and Environmental Medicine, Yeungnam University Hospital, Daegu, Korea<sup>5)</sup>*

**Objectives:** To evaluate effects of lead on the central nervous system of children by measuring blood lead concentration, computerized neurobehavioral function and intelligence of elementary school students.

**Methods:** The study was conducted with 208 elementary school students living in the vicinity of Pohang Industrial Complex in October and November, 2005. Data on demographic characteristics, living environments and lifestyle habits were collected from subjects.

**Results:** Blood lead levels of elementary school students ranged from 0.76-4.97  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , which is below the 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  recommended level of CDC. The blood lead levels were similar with those reported in other domestic and international studies. Neurobehavioral tests revealed that most third grade students reacted slowly and their speed declined in simple reaction time ( $p<0.05$ ), choice reaction time ( $p<0.05$ ), symbol digit substitution ( $p<0.01$ ), finger tapping speed nondominant hand ( $p<0.05$ ) as blood lead levels increased. Sixth grade students demonstrated significance in test performance, and displayed blood lead levels of 2.00-4.00  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . Results of intelligence testing showed significantly low performance in IQ ( $p<0.05$ ), vocabulary ability ( $p<0.05$ ), reasoning ability ( $p<0.05$ ), mathematical ability ( $p<0.05$ ) and perception ability ( $p<0.05$ ) among third grade students who displayed high levels of blood lead concentration. Sixth grade students showed significantly low performance in vocabulary ability ( $p<0.05$ ) at high level of blood lead concentration. The difference in mean IQ scores between the group with blood lead level of  $\leq 2.00 \mu\text{g}/\text{dl}$  and the group with blood lead level  $\geq 3.00 \mu\text{g}/\text{dl}$  was 3.21 in third grade students and 4.28 in sixth grade students. Low academic achievement was observed among third grade students ( $p<0.05$ ) and six grade students ( $p<0.05$ ) as the average blood lead level increased. Correlation analysis on the association of blood lead concentration with neurobehavioral tests revealed a positive correlation between blood lead levels and reaction time of choice reaction time and symbol digit substitution in third grade students. A positive correlation was observed between blood lead levels and reaction time of symbol digit substitution and finger tapping speed in sixth grade students. There was a negative correlation between blood lead levels and reasoning ability of third grade students ( $r=-0.247$ ) and vocabulary ability of six grade students ( $r=-0.255$ ).

**Conclusion:** There have been few studies on the effects of blood lead on the central nervous systems of children in Korea. The study supports the findings of earlier studies that blood lead has an impact on children. However, the study did not confirm significant association of blood lead concentration with each neurological and motor test conducted for this study due to a small sample size and relatively low blood lead levels of elementary school students. Further studies using a similar assessment methods would be helpful to evaluate the effects of low blood lead levels on the central nervous systems of children.

**Key Words:** Elementary school student, Blood lead concentration, Neurobehavioral function

〈접수일: 2009년 1월 18일, 1차수정일: 2009년 1월 22일, 2차수정일: 2009년 3월 19일, 채택일: 2009년 3월 25일〉

교신저자: 사공 준 (Tel: 053-620-4614) E-mail: jsakong@med.yu.ac.kr

\* 이 논문은 2005년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2005-000-11081-0)

서 론

대상 및 방법

저농도 납으로부터 만성적인 폭로에 의한 소아의 건강 문제는 보건학적 주목을 받아왔다<sup>1)</sup>. 소아의 혈중 납 농도의 권고수준은 시대에 따라 변화해 1960년대 중반에는 60  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상인 경우에 독성이 나타날 수 있다고 하였으나 1975년에는 납 중독의 기준이 30  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 낮추어졌으며, 다시 미국의 Centers for Disease Control (CDC)는 1985년에 소아들에서의 혈중 납 농도의 권고기준을 25  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 낮추었다<sup>2)</sup>. 그러나 대규모 코호트 연구를 통하여 10~20  $\mu\text{g}/\text{dl}$  정도의 저농도에서도 헴(heme)합성 저하, 중추신경계의 전기생리학적 반응의 변화 등 다양한 건강장애와 함께 지능발달의 저하 가능성<sup>3,4)</sup>, 지적수행능력 저하, 신경행동학적 기능장애의 가능성 등<sup>5)</sup>이 보고됨에 따라 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이 선별검사와 치료를 위한 참고치로 CDC에 의하여 제안되었으며 이 기준은 1993년 미국 소아과 학회에서도 채택되었다<sup>6)</sup>.

소아들은 식품과 음료수, 장난감 및 흙이나 페인트 조각에 포함된 납에 노출되며, 미국 소아들에서 납의 주된 흡수경로는 대기 중 납과 오래된 페인트 먼지와 미세한 조각들이다<sup>1)</sup>. 낮은 사회경제적 상태, 칼슘과 철분 등 영양소가 결핍되는 경우, 가족의 잦은 이사 및 부모의 낮은 교육수준 등은 소아들이 유해환경에 노출될 위험을 증가시킨다<sup>7)</sup>.

어린이들의 저농도 혈중 납과 관련한 연구로서 멕시코에서 수행된 연구<sup>8)</sup>는 24개월 소아들의 혈중 납 농도와 정신 발달 및 운동발달 모두에서 역상관관계를 보였다고 보고하였고, 또 Canfield 등은 172명의 소아 혈중 납을 전향적으로 추적 관찰한 결과, 3~5세에서 혈중 납과 지능지수가 역상관관계를 보였다고 보고하였다<sup>9)</sup>. 소아 납 노출의 중추신경계에 대한 잠재적인 건강영향에 관한 연구로는 지능지수(IQ)로 측정되는 인지기능장애에 관한 연구이며, 여러 나라의 연구에서도 유사하게 보고되고 있다<sup>10)</sup>.

국내에서는 울산지역 어린이들의 혈중 납, 요중 비소 및 카드뮴 농도 변화추이<sup>11)</sup>, 울산공단지역 초등학생들의 혈중 납 농도에 관한 연구<sup>12)</sup>, 정상 소아들의 혈중 납 농도와 지능지수와의 관련성에 관한 연구<sup>13)</sup>, 납 폭로근로자의 신경행동학적 변화<sup>14)</sup> 등의 연구가 보고된 바 있으나, 소아들에서의 납의 표적장기가 신경계 이상으로 알려져 있음에도 불구하고 소아들을 대상으로 한 혈중 납 농도와 신경행동기능의 관련성에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

이 연구에서는 경상북도 공단지역 중 대기오염이 타 지역에 비해 높을 것으로 추정되는 포항 철강공단 인근지역 초등학교 학생을 대상으로 개인의 특성, 생활환경 및 습관을 평가하고 혈중 납 농도를 측정하여 혈중 납이 지능 및 신경행동기능에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

1. 연구 대상

경상북도 포항시내 공단지역 초등학교 1개교를 연구대상으로 선정하였다. 대상 초등학교는 1968년에 개교한 학교로서 신설된 학교가 아니며, 일부 교사의 증축이 있었으나 10년 이상 경과하여 실내공기오염원이 없음을 확인하였다. 초등학생 총 251명(3학년 115명, 6학년 136명)에게 사전에 보호자를 대상으로 본 연구에 참여의사를 확인한 후 조사를 실시하였다. 참여자수는 208명(3학년 95명, 6학년 113명)으로 참여율은 82.9%였다.

2. 도구 및 방법

조사대상 초등학생들을 대상으로 2005년 10월에 설문 조사와 지능검사를 실시하고, 동년 11월에 건강검진과 혈중 납 농도를 분석하였고, 신경행동검사와 지능검사를 실시하였다. 설문서의 작성은 학생들의 학부모가 작성하는 것을 원칙으로 하였다. 설문조사에는 학년, 성, 부모의 교육수준, 가구소득수준, 주택의 형태 및 손씻기와 야외 활동시간 등의 개인적 특성을 조사하였으며 컴퓨터신경행동검사 성적 분석의 혼란변수로 작용할 수 있는 컴퓨터에 대한 친숙도를 통계적으로 보정하기 위해 주간 컴퓨터를 사용하는 빈도를 설문에 포함하여 조사하였다.

1) 혈중 납 농도 분석

중금속 분석을 위한 혈액의 채취는 초등학생들의 건강 검진 시 이루어졌다. 혈액은 전주정맥에서 1회용 주사기를 이용하여 10 ml(건강검진 시 기타 혈액검사를 위한 혈액 포함)를 채혈하였고, 이 중 중금속 분석을 위한 시료(3 ml)는 별도로 헤파린이 첨가된 vacuumtainer tube에 넣어 잘 흔들어 준 후 시료 분석 시까지 냉장보관 하였다. 혈중 납 분석은 국립환경과학원에서 graphite furnace atomizer(GFA-EX7)가 부착된 원자흡광광도계(AA-6800, Shimadzu)로, 튜브는 pyrocoated graphite tube를 사용하였다. 기기 및 분석조건은 Table 1과 같다.

모든 혈액(전혈)은 실험 전에 roll-mixer를 이용하여 1시간 이상 교반하여 주었다. 시료의 분석은 표준물첨가법(standard addition method)을 이용하였으며, 모든 시료는 사전혼합(pre-mix)한 후 auto-sampler (ASC-6100)를 이용하여 7  $\mu\text{l}$ 씩 자동으로 주입되도록 하였다. 1% Triton-X 100는 1 l volumetric flask에 Triton-X 100(Sigma<sup>®</sup>) 10 ml와 질산(Junsei<sup>®</sup>) 10 ml와 증류수로 제조하였다. 검량선 작성을 위한 납 표준용액(20,

**Table 1.** Instrument and analysis condition for blood lead concentration

Wavelength: 283.3 nm		Background correction: D2		
Slit width: 1.0 nm		Lamp Current: 10 mA		
Replication: 3		Signal processing: Peak height		
Step	Temp (°C)	Time (sec)	Heat Mode	Gas ( l /min)
# 1	150	20	Ramp	0.1
# 2	250	10	Ramp	0.1
# 3	550	10	Ramp	1.0
# 4	550	7	Step	1.0
# 5	550	5	Step	0.0
# 6	1900	3	Step	0.0
# 7	2300	2	Step	1.0
# 8	20	15	Step	1.0

40, 60, 80 ppb)은 Aldrich사의 1,000 ppm 용액을 증류수로 희석하여 제조하였다.

**2) 지능검사(Intelligence Test)**

초등학생들에 대한 지능검사는 설문조사와 동일한 기간에 학교 방문조사로 수행하였다. 지능검사 도구로는 Korean Institute for Research in the Behavior Science, Intelligence Test, Primary (KIT-P)를 사용하였다. KIT-P는 역학적 목적의 현장조사에 편리하고, 검사자 편견을 줄일 수 있으며, 표준화된 방법으로 실시하므로 지역 간의 비교 및 추적관찰에 용이하다.

**3) 컴퓨터 신경행동검사**

**(Computerized Neurobehavioral Test)**

초등학생들에 대한 신경행동검사는 컴퓨터 신경행동검사 시스템(Korean Computerized Neurobehavioral Test System, (주)지엔씨소프트)을 이용하여 수행하였다. 컴퓨터 키보드에 대한 친숙도의 차이가 검사결과에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 검사에 이용되는 키만을 갖춘 컴퓨터 신경행동검사용 키보드를 사용하였고 컴퓨터 신경행동검사의 수행방법에 매우 숙달된 검사자 7-8인이 검사를 수행하며 검사결과는 컴퓨터 신경행동검사의 해석에 경험이 많은 의사가 검토하였다. 검사자들은 사전에 작성된 검사방법의 설명요령을 이용하여 모든 학생에게 동일한 방법으로 각 검사항목에 대한 검사과정과 자극의 형태 및 키보드를 이용하여 자극에 반응하는 방법을 설명하며 검사방법을 충분히 이해하지 못하는 학생에 한하여 검사자가 추가적인 설명을 하도록 하여 검사자와 피검사 사이의 대화를 규격화, 최소화하였다.

컴퓨터 신경행동검사는 단순반응시간(simple reaction time), 선택반응시간(choice reaction time), 글자색 맞추기(color word vigilance), 숫자구분(digit classification), 숫자더하기(digit addition), 부호숫자 짝짓기(symbol digit substitution), 손가락 두드리기(fin-

ger tapping speed) 순서로 모든 학생들에게 동일한 순서로 시행되었다. ‘숫자구분’과 ‘숫자더하기’는 3학년 학생을 제외한 6학년 학생들만을 대상으로 실시하였다. 구체적인 검사방법과 점수화 과정은 다음과 같다.

**단순반응시간:** 화면에 붉은 색의 사각형이 2.5~5초 간격으로 불규칙하게 나타나며 피검자는 사각형이 나타나면 최대한 빨리 키보드의 키를 누른다. 컴퓨터는 화면에 사각형이 나타나는 순간부터 피검자가 키를 누를 때까지의 시간을 0.001초 단위로 측정한다. 사각형은 1분 동안 16번 나타나며 1분의 연습수행 후 2분 동안 검사를 수행하였다.

**선택반응시간:** 화면에 노란색 십자가 도형이 2.5~5초 간격으로 불규칙하게 나타난다. 십자가의 네 팔 중 짧은 팔이 있는 방향을 찾아 동일한 방향의 화살표 키를 최대한 빨리 누른다. 십자가 도형은 1분 동안 16번 나타나며 1분의 연습수행 후 2분 동안 검사를 수행하였다.

**글자색 맞추기:** 화면에 하양, 노랑, 빨강, 파랑이라는 단어가 한 개씩 나타난다. 단어의 뜻과 색이 일치하는 경우와 일치하지 않는 경우가 임의의 순서로 섞여서 나타나며 단어의 뜻과 색이 일치하는 경우에만 키를 최대한 빨리 누른다. 색 단어는 1분 동안 16번 나타나며 1분의 연습수행 후 1분 동안 검사를 수행하였다.

**숫자구분:** 아라비아 숫자가 하나씩 불규칙하게 화면에 나타나며 피검자는 나타난 숫자가 홀수 혹은 짝수인지를 구분하여 홀수이면 좌측 화살표 키를, 짝수이면 우측 화살표 키를 최대한 빨리 누른다. 연습수행을 거친 후 60개의 숫자를 구분하였다. 컴퓨터는 맞게 구분한 경우와 잘못 구분한 경우에서 각각의 평균 반응시간과 잘못 구분한 횟수를 측정한다.

**숫자더하기:** 세 개의 일련의 숫자가 수평적 더하기형태로(예: 7+4+5) 화면에 1초 동안 나타난다. 피검자는 최대한 빨리 계산을 하여 정답을 숫자 키를 통하여 입력한다. 8회의 연습수행 후 8회의 본 검사를 수행하였다. 컴퓨터는 정답의 개수와 오답의 개수를 기록하고 각각의 반응에

대한 반응시간을 측정한다.

부호숫자 짝짓기: 화면의 상단에 임의로 짝지어진 부호와 1에서 9까지의 숫자가 나타나며 하단에는 상단과 다른 순서로 배열된 부호와 9개의 빈 칸이 나타난다. 피검자는 상단에 예시 된 부호와 숫자의 짝과 일치되게 숫자 키를 이용하여 하단의 빈칸에 숫자를 입력한다. 처음 9회의 연습수행 후 63회의 본 검사를 수행하였다.

손가락 두드리기: 손바닥을 테이블 위에 붙인 상태에서 검지 손가락을 이용하여 키를 가능한 빨리 두드린다. 평상시 자주 쓰는 손(우수, dominant hand)와 자주 쓰지 않는 손(좌수, nondominant hand)을 교대로 검사한다. 양손 각각 1회의 연습수행 후 한손에 1회씩 본 검사를 수행하였다.

3. 자료 분석

조사된 학생의 과거 및 현재의 병력을 이용하여 과거 열성질환, 두부외상 및 중추신경계에 이상을 초래할 만한 병력이 있는 학생은 분석대상에서 제외하였다. 본 검사 전에 예비검사를 수행하지 않은 학생들은 분석에서 제외하였으며 존재할 수 없는 반응속도를 보이는 경우, 오답의 횟수가 현저하게 많은 경우는 분석에서 제외하였다.

측정된 검사결과들의 통계적 분석은 SPSS 12.0을 이용하였다. 군 간의 일반적 특성에 대한 동질성 검정은  $\chi^2$ -test, t-test를 실시하였으며, 일원배치분산분석으로 세 군 간의 동질성을 검정하였다.

아동들의 지능지수와 신경행동기능에 영향을 미칠 수 있는 관련변수(성별, 부의 교육수준, 컴퓨터 친숙도, 연 가구 수입)의 영향을 보정하기 위해 다중선형회귀분석에서 산출된 잔차를 이용하여 보정된 신경행동검사 측정값을 산출한 후 혈중 납 농도에 따른 보정된 신경행동검사 성적의 평균값을 비교하였고, 혈중 납 농도에 따른 신경행동기능의 증가 혹은 감소의 선형추세를 확인하기 위하여 보정된 신경행동검사와 지능지수의 평균 측정값의 증

가 혹은 감소의 선형적 경향성(P trend)을 검증하였다. 혈중 납 농도와 신경행동검사, 지능검사의 상관관계를 알아보기 위하여 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficients)를 구하였다.

결 과

1. 대상자의 혈중 납 농도 분포

초등학생들의 혈중 납 농도 분포는 4.00  $\mu\text{g}/\text{dl}$  미만이 3학년 학생 중 80.0%, 6학년 학생 중 99.1%로 나타나 6학년 학생들의 납 농도가 3학년 학생들보다 낮았고, 모두 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  미만인 저농도 수준이었으며 학년 간 납 농도 분포에서 유의한 차이가 있었다( $p<0.01$ )(Table 2).

2. 대상자 특성별 혈중 납 농도

대상자의 혈중 납 농도 평균치는 Table 3와 같이 2.40  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 저농도 수준이었다. 학년별로는 3학년이 3.06  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 6학년 1.85  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 보다 유의하게 높았고( $p<0.01$ ), 성별로는 남학생이 2.58  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 여학생 2.14  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 보다 유의하게 높았다. 부의 교육수준에 따라서는 중졸 이하가 2.27  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 고졸 2.46  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 대졸 이상 2.30  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 차이가 없었다. 그리고 연 가구 수입별로는 년 2,000만 원 미만이 평균 2.49  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 2,000~4,000만 원이 2.46  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 4,000만 원 초과가 2.31  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 소득 수준이 높을수록 낮았지만 통계적으로 유의한 차이는 아니었다. 거주형태별로는 아파트 어린이가 2.31  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 주택 어린이가 2.51  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이었다. 외출 후 손 씻는 어린이는 2.44  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 손 씻지 않는 어린이는 2.46  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이었고, 집 밖에서 노는 시간별로는 1시간 미만이 2.22  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 1~3시간이 2.43  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 4시간 이상이 2.98  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 노는 시간이 많을수록 외부환경에 노출이 많이 된 것으로 나타났으나 유의한 차이는 아니었다(Table 3).

Table 2. Distribution of blood lead concentration in elementary school students

Blood lead ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	Elementary school student			P-value*
	3rd grade N(%)	6th grade N(%)	Total N(%)	
≤0.99	0( - )	2( 1.8)	2( 1.0)	0.001
1.00~1.99	14(14.7)	76(67.3)	90(43.3)	
2.00~2.99	31(32.6)	29(25.7)	60(28.8)	
3.00~3.99	31(32.6)	5( 4.4)	36(17.3)	
≥4.00	19(20.0)	1( 0.9)	20( 9.6)	
Total	95(100.0)	113(100.0)	208(100.0)	

\* P-value by  $\chi^2$ -test.

3. 혈중 납 농도에 따른 신경행동검사 및 지능검사

혈중 납 농도에 따른 신경행동검사 및 지능검사 성적은 Table 4, Table 5에서 부의 교육수준, 연 가구 수입, 성별을 보정하여 나타내었다. 초등학생들의 혈중 납 농도에 따른 신경행동검사 성적에서 3학년 학생은 단순반응시간, 선택반응시간, 글자색 맞추기, 부호숫자 짝짓기, 손가락 두드리기-열수에서 학생들의 혈중 납 농도가 높을수록 반응시간이 길어지며 두드리는 횟수가 감소하였다. 통계적으로 단순반응시간(p<0.05), 선택반응시간(p<0.05), 부호숫자 짝짓기(p<0.01), 손가락 두드리기-열수(p<0.05)에서 혈중 납 농도가 증가할수록 신경행동기능이 유의하게 감소하였다. 6학년 학생은 부호숫자 짝짓기에서만 혈중 납 농도가 높을수록 반응시간이 유의하게 증가하여(p<0.05) 신경행동기능이 감소한 것으로 나타났으며 나머지 항목에서는 신경행동기능의 유의한 차이가 없

었다(Table 4).

초등학생들의 부의 교육수준, 연 가구 수입, 성별을 보정한 후 혈중 납 농도에 따른 지능검사 성적은 3학년에서는 지능지수, 어휘력, 추리력, 수리력, 지각력 모든 항목에서 혈중 납 농도가 높을수록 유의하게 낮았고(p<0.05), 6학년 학생은 혈중 납 농도가 높을수록 어휘력에서만 유의하게 낮았으며(p<0.05), 수리력에서는 통계적으로는 유의하나(p<0.05) 혈중 납 농도에 따른 경향성(trend)은 알 수 없었다. 6학년에서도 3학년과 같이 혈중 납 농도 1.99  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이하 평균과 3.00  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상 평균의 지능지수 4.28, 어휘력 2.93, 추리력 3.21, 수리력 0.76, 지각력 1.43의 차이가 있었다(Table 5).

4. 학업성취도에 따른 혈중 납 농도

초등학생들의 학업성취도에 따른 혈중 납 농도는 참여

Table 3. Concentration of blood lead by characteristics of subjects

Characteristics	Number of subjects	Blood lead ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )		
		Mean $\pm$ SD	GM $\pm$ SD	Range
Grade of student*				
3rd	95	3.06 $\pm$ 0.97	2.89 $\pm$ 1.42	1.26~4.97
6th	113	1.85 $\pm$ 0.36	1.76 $\pm$ 1.38	0.76~4.18
Sex*				
Male	123	2.58 $\pm$ 0.95	2.41 $\pm$ 1.46	0.76~4.97
Female	85	2.14 $\pm$ 1.03	1.94 $\pm$ 1.55	0.87~4.91
Paternal education level				
Middle school graduate or less	16	2.27 $\pm$ 0.93	2.11 $\pm$ 1.49	1.03~4.16
High school graduate	77	2.46 $\pm$ 1.05	2.24 $\pm$ 1.55	1.00~4.97
College or more	81	2.30 $\pm$ 0.94	2.12 $\pm$ 1.50	0.76~4.91
No response	34	2.58 $\pm$ 1.07	2.39 $\pm$ 1.48	1.31~4.85
Annual household income (million won)				
<20	35	2.49 $\pm$ 1.10	2.27 $\pm$ 1.54	1.12~4.97
20~40	61	2.46 $\pm$ 1.02	2.27 $\pm$ 1.50	1.17~4.91
>40	43	2.31 $\pm$ 0.86	2.15 $\pm$ 1.48	0.87~4.57
No response	69	2.35 $\pm$ 1.03	2.15 $\pm$ 1.54	0.76~4.85
Housing characteristics				
Apartment	128	2.31 $\pm$ 0.94	2.13 $\pm$ 1.50	0.76~4.97
House	62	2.51 $\pm$ 1.06	2.30 $\pm$ 1.54	1.00~4.91
No response	18	2.68 $\pm$ 1.20	2.46 $\pm$ 1.53	1.31~4.85
Hand washing after outdoors				
Yes	110	2.44 $\pm$ 1.01	2.23 $\pm$ 1.53	0.76~4.97
No	79	2.46 $\pm$ 0.92	2.29 $\pm$ 1.49	1.03~4.63
No response	19	2.76 $\pm$ 1.22	2.52 $\pm$ 1.54	1.31~4.85
Outdoor play time (hours/day)				
<1	40	2.22 $\pm$ 1.00	2.01 $\pm$ 1.57	0.76~4.41
1~3	132	2.43 $\pm$ 0.98	2.24 $\pm$ 1.50	0.87~4.97
$\geq$ 4	5	2.98 $\pm$ 1.07	2.78 $\pm$ 1.57	1.31~3.93
No response	31	2.41 $\pm$ 1.12	2.21 $\pm$ 1.50	1.14~4.85
Total	208	2.40 $\pm$ 1.00	2.20 $\pm$ 1.50	0.76~4.97

\* P < 0.01 by t-test.

**Table 4.** Blood lead concentration and neurobehavioral performance of elementary school students

Blood lead ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	Unit: mean $\pm$ SD									
	Simple reaction time	Choice reaction time	Color word vigilance	Symbol digit substitution	Digit classification	Digit addition	Finger tapping speed- dominant hand	Finger tapping speed- nondominant hand		
3rd grade of student	(N=92)	(N=93)	(N=94)	(N=95)	(N=107)	(N=110)	(N=95)	(N=95)		
$\leq 1.99$	408.79 $\pm$ 38.87*	592.46 $\pm$ 128.39*	506.25 $\pm$ 70.78	3115.88 $\pm$ 379.00 <sup>†</sup>	-	-	55.00 $\pm$ 5.49	48.97 $\pm$ 6.00*		
2.00~2.99	408.84 $\pm$ 136.28	595.44 $\pm$ 150.27	509.10 $\pm$ 78.14	3312.54 $\pm$ 673.01	-	-	55.28 $\pm$ 4.36	48.85 $\pm$ 4.65		
3.00~3.99	410.83 $\pm$ 146.09	600.99 $\pm$ 176.82	509.46 $\pm$ 95.20	3325.46 $\pm$ 595.95	-	-	55.24 $\pm$ 5.95	48.72 $\pm$ 6.76		
$\geq 4.00$	419.89 $\pm$ 160.05	624.43 $\pm$ 134.25	520.25 $\pm$ 50.87	3470.95 $\pm$ 920.08	-	-	54.35 $\pm$ 5.63	47.72 $\pm$ 5.55		
Total	411.76 $\pm$ 138.06	602.76 $\pm$ 154.60	511.04 $\pm$ 78.54	3325.35 $\pm$ 679.60	-	-	55.04 $\pm$ 5.38	48.60 $\pm$ 5.74		
6th grade of student	(N=111)	(N=112)	(N=111)	(N=112)	(N=107)	(N=110)	(N=112)	(N=112)		
$\leq 1.99$	323.65 $\pm$ 91.58	500.99 $\pm$ 68.05	483.12 $\pm$ 52.13	2401.39 $\pm$ 323.32*	580.87 $\pm$ 95.01	2949.94 $\pm$ 795.44	63.88 $\pm$ 6.71	56.03 $\pm$ 6.77		
2.00~2.99	318.03 $\pm$ 80.72	500.12 $\pm$ 66.15	483.56 $\pm$ 91.37	2468.60 $\pm$ 304.34	577.71 $\pm$ 102.79	2897.38 $\pm$ 579.45	65.19 $\pm$ 7.91	57.52 $\pm$ 7.06		
$\geq 3.00$	327.32 $\pm$ 59.03	498.87 $\pm$ 45.25	476.34 $\pm$ 29.85	2549.42 $\pm$ 224.08	584.90 $\pm$ 100.27	3125.28 $\pm$ 983.04	65.06 $\pm$ 5.41	57.34 $\pm$ 8.20		
Total	322.43 $\pm$ 87.56	500.66 $\pm$ 66.15	482.93 $\pm$ 64.92	2426.72 $\pm$ 313.42	580.27 $\pm$ 96.94	2946.13 $\pm$ 767.60	64.28 $\pm$ 7.02	56.49 $\pm$ 6.86		

\*  $P < 0.05$ , <sup>†</sup>  $P < 0.01$  (P for trend test).

The values of neurobehavioral tests were adjusted for sex, paternal education level, computer familiarity, and annual household income.

Lower scores indicate better performance for all variables except Finger tapping speed where higher scores indicate better performance.

Parameters of simple reaction time, choice reaction time and symbol-digit substitution are measured in msec.

Parameters of finger tapping speed are the number of taps in 10 s.

자 208명 중 21명이 불참하여 187명의 결과를 나타내었다. 학업성취도는 4등분하여 학년별로 제시하였다. 3학년에서는 상위권 50% 이내 군이 나머지 군보다 납 농도

가 낮았으며, 6학년에서는 성적 상 하위 군 간에 일정한 경향이 없었다. 그러나 학년 전체로 보면 성적 상위권에 서 25%, 50%, 75%의 하위권 순으로 혈중 납 농도가

**Table 5.** Blood lead concentration and intelligence level of elementary school students Unit: score, mean±SD

Blood lead ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	IQ	Vocabulary ability	Reasoning ability	Mathematical ability	Perception ability
3rd grade of student					
≤1.99	111.96±13.20*	55.57±10.61*	57.59± 8.97*	56.21± 9.64*	53.59± 7.55*
2.00~2.99	109.26±15.38	53.82±10.41	55.74±10.79	55.42± 9.45	52.83± 8.80
3.00~3.99	108.75±15.71	53.68± 8.90	55.46± 8.60	55.07±12.44	52.62±10.01
≥4.00	106.81±13.14	53.21± 7.52	54.41± 4.56	53.58±11.41	52.00± 9.72
Total	109.00±14.95	53.91± 9.48	55.66± 8.93	55.05±10.83	52.71± 9.42
6th grade of student					
<1.99	107.05±14.07	53.55± 9.48*	54.72± 9.56*	53.41±8.19*	51.92± 8.40
2.00~2.99	108.30±15.77	53.29±10.04	54.98± 9.90	55.15±8.30	52.54±10.89
≥3.00	102.77±15.33	50.62± 7.08	51.51±11.48	52.65±5.93	50.49± 9.67
Total	107.14±14.48	53.33± 9.47	54.62± 9.74	53.81±8.07	51.99± 9.18

\* P<0.05 (P for trend test).

The values of intelligence test were adjusted for sex, paternal education level, and annual household income.

**Table 6.** Concentration of blood lead by scholastic achievement level of elementary school students Unit:  $\mu\text{g}/\text{dl}$

Achievement levels	3rd grade of student			p-value	6th grade of student			p-value	Total			p-value
	N	Mean	SD		N	Mean	SD		N	Mean	SD	
Quartile 1	17	2.92	1.1	0.016	39	1.78	0.6	0.649	56	2.12	0.9	0.040
Quartile 2	27	2.59	0.9		21	1.85	0.6		48	2.27	0.9	
Quartile 3	30	3.26	0.7		26	1.77	0.7		56	2.57	1.0	
Quartile 4	12	3.40	0.9		15	2.00	0.7		27	2.37	1.1	

P-value was calculated by ANOVA.

**Table 7.** Correlation coefficient of blood lead concentration and neurobehavioral tests and intelligence quotient in elementary school students

	Elementary school student	
	3rd grade	6th grade
Neurobehavioral test		
Simple reaction time	0.199	0.013
Choice reaction time	0.220*	-0.071
Color word vigilance	0.125	-0.038
Symbol digit substitution	0.336 <sup>†</sup>	0.331 <sup>†</sup>
Digit classification	-	0.082
Digit addition	-	0.177
Finger tapping speed-dominant hand	-0.055	0.233*
Finger tapping speed-nondominant hand	-0.181	0.236*
Intelligence test		
IQ	-0.153	-0.136
Vocabulary ability	-0.165	-0.255 <sup>†</sup>
Reasoning ability	-0.247*	-0.063
Mathematical ability	-0.041	-0.073
Perception ability	-0.023	-0.044

\* P<0.05, <sup>†</sup> P<0.01.

2.12  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 2.27  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 2.57  $\mu\text{g}/\text{dl}$  증가하였다. 즉 3학년 군과 3, 6학년 합계 군에서 혈중 납 농도가 높은 군의 학업성취도가 유의하게 낮은( $p < 0.05$ ) 경향을 보였다(Table 6).

### 5. 혈중 납 농도와 신경행동기능 및 지능과의 상관관계

초등학생들의 혈중 납 농도와 신경행동검사와 지능검사의 상관관계(Pearson correlation coefficients)를 분석한 결과 혈중 납 농도와 신경행동검사에서 3학년은 단순반응시간, 선택반응시간, 글자색 맞추기, 부호숫자 짝짓기에서 양의 상관관계가 있었고, 6학년은 단순반응시간, 숫자구분, 숫자더하기, 부호숫자 짝짓기, 손가락 두드리기-우수, -열수에서 양의 상관관계가 있었다. 혈중 납 농도와 지능검사에서 3학년, 6학년 모두 역상관관계가 있었다. 즉 신경행동검사에서 3학년은 선택반응시간( $r=0.220$ ), 부호숫자 짝짓기( $r=0.336$ ), 6학년은 부호숫자 짝짓기( $r=0.331$ ), 손가락 두드리기-우수( $r=0.233$ ), 손가락 두드리기-열수( $r=0.236$ )에서 약한 상관관계였고, 혈중 납 농도와 지능검사의 상관분석에서 3학년은 추리력( $r=-0.247$ )이, 6학년은 어휘력( $r=-0.255$ )이 약한 역상관관계였다(Table 7).

## 고 찰

산업장 근로자들에 대한 중금속 등의 유해한 환경요인에 의한 중추신경계 장애에 관한 연구는 1960년대부터 시작되었으나 소아 및 어린이에서 유해한 환경요인에 의한 신경계 이상에 관한 연구는 비교적 최근에 시작되었다<sup>15-18)</sup>.

소아 및 어린이는 야외활동, 빈번한 손과 입의 접촉(hand to mouth contact), 높은 신진대사율로 인해 유해환경요인에 의한 건강영향이 성인과 다른 양상을 보인다<sup>19-22)</sup>. 미국 CDC에서 제시하고 있는 소아의 혈중 납 허용기준은 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이며, 독일 Commission on Human Biological Monitoring (CHBM)에서 제시한 아동의 Human Biological Monitoring (HBM)도 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 이다<sup>23)</sup>.

그러나 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이하의 혈중 납 농도에 대한 어린이들의 건강영향에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 납 등 유해 중금속의 영향에 가장 민감한 연령대는 영유아를 포함하는 소아이며, 소아들에서의 1차적 표적장기가 신경계 이상으로 알려져 있음에도 불구하고 현재까지 국내에서는 중추신경계 기능을 중심으로 한 소아 신경계기능과 혈중 납 농도와의 관련성에 관한 연구는 미흡하였다.

이 연구에서의 초등학생들의 혈중 납 농도는 정규분포에

가까웠고 모든 조사대상자의 혈중 납 농도가 CDC 권고수준으로 알려진 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이하인 0.76~4.97  $\mu\text{g}/\text{dl}$  사이였으며 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상인 대상자는 없었다. 학년별로는 3학년 평균 3.06  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 6학년 평균 1.85  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 성별에서는 남학생 2.58  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 여학생 2.14  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 나타나 학년이 낮을수록, 활동성이 강한 남학생이 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 이러한 농도수준은 울산공단지역 초등학생들의 혈중 납 농도에 관한 연구<sup>12)</sup>와 비교할 때 학년에 따라서는 3학년(10세 군) 4.85  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 6학년(13세 군) 4.94  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 이 연구에서 보다 높은 농도였고, 성별로도 남학생 5.04  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 여학생 4.75  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 본 연구보다 높은 농도로 나타났다. 따라서 활동성이 강한 남학생이 외부환경에 노출이 많았던 것으로 추정되는 일치된 경향을 알 수 있었다.

Lee 등의 부산 사상공단지역 초등학생 1, 2학년 중 138명을 조사한 연구결과(평균 8.22  $\mu\text{g}/\text{dl}$ )와<sup>13)</sup> Lee 등의 울산지역 초등학생들을 대상으로 3년간 조사한 연구결과(전체 4.90  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 공단지역 5.26  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 교외지역 3.81  $\mu\text{g}/\text{dl}$ )<sup>11)</sup>와 비교할 때 이 연구 결과가 낮은 수준이었으며, Yu 등의 춘천지역 학생들을 대상으로 한 연구결과(기하평균 남아 3.01  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , 여아 2.62  $\mu\text{g}/\text{dl}$ )<sup>24)</sup>와 비슷한 수준이었다. 최근 보고된 연구일수록 납 농도가 낮은 것으로 나타났다.

일반적으로 체내 중금속 농도는 연령에 따라 증가하는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서 동일한 학교 3학년 학생들에 비해 6학년 학생들의 혈중 납 농도가 유의하게 낮았으나 두 학년 모두 매우 낮은 수준의 혈중 납 농도를 보이므로 차이의 원인을 찾기는 어려웠다. 혈중 납 농도는 장기간이 아닌 수개월간의 납 노출 수준을 반영함을 고려할 때 6학년에 비해 3학년 학생들의 혈중 납 농도가 높은 것은 3학년 학생들이 6학년 학생들에 비해 야외활동이나 휴장난 등에 노출될 기회가 많은 반면 손씻기 등의 위생행위의 실천행위가 상대적으로 적을 수 있기 때문으로 추정된다. 소아들의 생활습관과 체내 중금속 농도의 관련성을 명확하게 밝히기 위해서는 생활습관을 장기간 면밀하게 관찰할 수 있는 연구도구를 이용한 연구가 차후 필요할 것을 생각된다.

최근 납이 신경계에 미치는 영향을 보다 민감하게 평가하기 위해서 시각기능, 특히 컴퓨터 신경행동검사의 장점에 관한 관심이 높아지고 있다<sup>25)</sup>. 그러나 외국의 경우도 성인용 신경행동검사와는 달리 소아 및 어린이를 위한 신경행동검사에 관한 연구는 많지 않으며<sup>15, 26, 27)</sup>, 일부 중금속, 즉 납<sup>4, 28)</sup>에 관해서는 1990년대 들어 연구가 시작되어 자료가 축적되는 과정에 있다.

컴퓨터를 이용한 검사의 표준화는 의사와 환자사이의 교감을 감소시켜 컴퓨터 신경행동검사의 임상적 활용에는



매우 제한점으로 작용하기도 하지만, 많은 양의 자료를 객관적인 방법을 이용하여 구할 수 있어 오차를 줄이고, 공변량의 보정을 통해 보다 견고한 모델을 추정할 수 있어 역학적 관점에서의 효율성이 매우 크다<sup>29)</sup>.

우리나라에서도 성인 특히 산업장 환경독성물질에 노출되는 근로자 집단에서 컴퓨터 신경행동검사의 활용가능성에 대한 대규모 연구가 Park 등<sup>14)</sup>에 의해 수행되었으나, 유해한 환경요인에 민감한 소아들에게 신경행동기능을 평가하는 도구로서 컴퓨터 신경행동검사는 이 연구가 국내에서는 처음으로 수행되었다.

초등학생들의 특성 중 부의 교육수준, 연 가구 수입, 성별을 보정한 후 혈중 납 농도에 따른 신경행동검사 성적을 비교한 결과를 보면, 3학년 학생은 단순반응시간 ( $p < 0.05$ ), 선택반응시간( $p < 0.05$ ), 부호숫자 짝짓기 ( $p < 0.01$ ), 손가락 두드리기-열수( $p < 0.05$ )에서 혈중 납 농도가 증가할수록 반응시간은 길어졌고, 두드리는 횟수는 감소하여 신경행동기능이 유의하게 감소하였다. 6학년 학생은 부호숫자 짝짓기에서만 혈중 납 농도가  $2.00 \mu\text{g}/\text{dl}$ 에서  $4.00 \mu\text{g}/\text{dl}$ 로 높을수록 반응시간이 유의하게 ( $p < 0.05$ ) 증가하여 신경행동기능이 감소한 것으로 나타났다. 따라서 혈중 납 농도가 학생들의 신경행동기능에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 신경행동기능 검사방법이 일치하지는 않지만 산업장 납 노출 근로자의 신경행동학적 변화<sup>14)</sup>를 이용하여 조사한 연구에서 5개 항목 중 숫자암기의 역순, 숫자부호 짝짓기, Benton Visual Retention에서 납의 고농도 군( $40 \mu\text{g}/\text{dl}$  이상)과 중간농도 군( $20 \sim 40 \mu\text{g}/\text{dl}$  이하)이 저농도 군( $20 \mu\text{g}/\text{dl}$  이하)에 비해 유의하게 수행능력이 저하된 것으로 보고되어, 비록 혈중 납의 고농도 군에 대한 연구결과이긴 하나 신경행동기능에 미치는 영향은 이 연구와 유사한 것으로 나타났다. Dietrich 등은 6세 아동의 코호트에서 납 농도가 높은 군이 협조운동 능력, 시각운동 조절능력, 상지의 운동속도와 민첩성 및 미세운동 능력 영역에서 점수가 낮았고<sup>30)</sup>, Mendelsohn 등이 12~36개월 사이의 아동들을 대상으로 혈중 납 농도가  $10 \mu\text{g}/\text{dl}$  초과 군과 미만 군으로 나누어 Behavior Rating 척도를 비교하여 행동에 유의한 차이가 있다는 보고<sup>31)</sup>, Wasserman 등이 Kosovo의 두 도시에 사는 3세 아동들을 대상으로 아동행동평가표(CBC)를 평가 했을 때 사회인구학적 요소와 유아 기질 등의 요소들을 통제한 후에도 CBC의 파괴적 행동척도와 혈중 납 농도가 일관성이 있는 관련성을 가진다는 보고<sup>32)</sup> 등과 비교할 때 신경행동기능을 검사하는 방법의 차이는 있으나 이 연구 결과와 유사하였다.

초등학생들의 특성 중 부의 교육수준, 연 가구 수입, 성별을 보정한 후 혈중 납 농도에 따른 지능검사 성적을 비교했을 때 3학년에서는 지능지수, 어휘력, 추리력, 수

리력, 지각력 모든 항목에서 혈중 납 농도가 높을수록 유의하게 낮았으며( $p < 0.05$ ), 6학년에서는 어휘력에서만 혈중 납 농도가 높아질수록 유의하게 낮게 나타났으며( $p < 0.05$ ), 수리력에서는 통계적으로는 유의한 차이는 있었으나( $p < 0.05$ ) 혈중 납 농도에 따른 경향성(trend)은 나타나지 않았다. 3학년의 모든 항목과 6학년의 일부 항목에서 초등학생들의 혈중 납 농도의 증가와 지능과의 관련성이 있었다. 혈중 납 농도  $1.99 \mu\text{g}/\text{dl}$  이하 군과  $3.00 \mu\text{g}/\text{dl}$  이상 군 간의 지능지수 차이는 3학년이 3.21, 6학년이 4.28이었다. 이 연구 결과는 4~10세 사이의 아동들을 대상으로 한 선형연구들<sup>4,33,34)</sup>에서 교란변수를 보정한 회귀분석에서 일생동안 축적된 혈중 납이  $10 \mu\text{g}/\text{dl}$  증가하면 평균 0~5사이의 지능지수(IQ)가 저하된다는 보고, 또  $10 \mu\text{g}/\text{dl}$  미만(CDC와 예방권고치)의 혈중 납 농도에서 일생동안 평균 혈중 납 농도의  $10 \mu\text{g}/\text{dl}$ 의 증가는 IQ 4.6점의 감소( $p = 0.004$ )를 보이며, 혈중 납 농도는  $10 \mu\text{g}/\text{dl}$  이하일지라도 3~5세 어린이들의 IQ와 반비례한다는 보고<sup>9)</sup>와 유사하였다.

이와 관련하여 본 연구와 직접적인 비교는 할 수 없으나 유사한 연구로서 Bellinger 등의 Boston 코호트 연구 결과, 2세에서의 혈중 납 농도의 증가는 10세 때의 인지기능저하와 학업성취도의 감소와 연관이 있다고 보고하였다<sup>35)</sup>. 이 연구에서도 학업성취도에 따른 혈중 납 농도에서는 3학년 군과 3, 6학년 합계 군에서 학업성취도 상위 군에 비해 하위 군에서 혈중 납 농도가 유의하게( $p < 0.05$ ) 높았다. 성적순위로는 상위 군과 하위 군 사이에 평균 혈중 납 농도는 부분적으로  $0.15 \sim 0.30 \mu\text{g}/\text{dl}$ 의 차이가 나타나 저농도의 혈중 납 농도와 학업성취도 차이의 관련성을 시사하였으나 명확한 결론을 내리기는 어렵다.

혈중 납 농도와 신경행동기능의 상관분석에서 3학년의 선택반응시간의 상관계수가 0.220, 부호숫자 짝짓기가 0.336, 6학년은 부호숫자 짝짓기가 0.331, 손가락 두드리기-우수가 0.233, 손가락 두드리기-열수가 0.236으로 약한 상관성을 보였으며, 혈중 납 농도와 지능검사의 상관분석에서는 3학년은 추리력의 상관계수가  $-0.247$ , 6학년은 어휘력이  $-0.255$ 였다. 따라서 초등학생들의 혈중 납 농도가 증가할수록 신경행동기능과 지능이 감소하는 경향이 있었다. 이는 Canfield 등이 172명의 소아 혈중 납을 전향적으로 추적 관찰한 결과, 101명은  $10 \mu\text{g}/\text{dl}$ 를 초과하지 않았고, 3~5세에서 혈중 납과 지능지수와는 역상관관계를 나타내었다는 보고<sup>9)</sup>와 유사하였다.

Korean Educational Development Institute-Weshler Intelligence Scale for Children (KEDI-WISC)를 이용하여 초등 1, 2학년 학생 100명을 검사한 결과<sup>13)</sup> 혈중 납 농도 기하평균은  $7.99 \mu\text{g}/\text{dl}$  였고 전체 소아들에서 혈중 납 농도와 지능지수와는 어떤 관련성도

보이지 않았다는 보고와 Ernhart 등, Lansdown 등의 혈중 납 농도와 지능지수와는 관련성이 없었다는 보고는 이 연구와 일치하지 않았다<sup>36,37)</sup>.

이 연구에서의 제한점으로는 지역적 특성을 달리한 대조군을 설정하지 못하였으며, 전 학년을 대상으로 하지 않았기 때문에 연령별 분포를 볼 수 없었고, 환경요인과 관련하여서는 초등학교생들의 거주환경에 일치하는 대기환경 중의 납 농도에 관한 정밀한 정보가 결여되어 이를 고려하지 못했다. 그리고 식이상태에 관한 설문조사에서 식품의 생산지를 잘 알 수 없었으며, 식품 종류별 섭취 빈도에 있어서도 정확한 답변이 부족하였다.

이러한 결과로 저학년 어린이들이, 여자 어린이들 보다는 남자 어린이들이, 경제적 수준이 낮은 어린이들이, 집 밖에서 노는 시간이 긴 어린이일수록 중금속 오염원에 많이 노출되는 것으로 추정된다.

따라서 향후 소아들의 중금속 노출을 줄이기 위해서는 오염된 주변 환경에 노출되지 않도록 하기 위한 학교시설(방과 후 놀이) 운동장 토양의 정기적인 복토 및 관리와 주거 환경 청결, 방과 후 손 발 잘 씻기 등 개인위생교육에 보다 많은 관심을 기울여야 할 것으로 생각된다.

이 연구에서 포항 공단지역 초등학교 학생들만을 대상으로 표본조사가 이루어 졌다. 비록 이 연구의 대상자들의 혈중 납 농도가 의학적 우려수준인 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이하인 것으로 나타났으나 이들의 노출수준이 전국의 초등학교생들의 중금속 노출수준을 대표한다고 할 수는 없다. 향후 환경위해성 평가 시 성인에 비해 유해물질에 민감한 소아들의 신경계 기능에 관한 검사가 필요할 것으로 생각된다.

## 요 약

**목적:** 철강공단 인근지역 초등학교 학생을 대상으로 개인의 특성, 생활환경 및 습관을 평가하고 혈중 납 농도를 측정하여 혈중 납이 지능 및 신경행동기능에 미치는 영향을 알아보고자 연구를 시도하였다.

**방법:** 2005년 10월부터 11월까지 포항공단지역 초등학교 208명을 대상으로 일반적 특성, 생활환경 및 생활습관을 조사하였고, 혈중 납 농도를 분석하였으며, 컴퓨터 신경행동검사와 지능검사를 실시하였다.

**결과:** 초등학교생들의 혈중 납 농도 분포는 정규분포에 가까웠으며, 조사대상자 모두가 0.76~4.97  $\mu\text{g}/\text{dl}$  범위에 포함되어 소아 혈중 납 농도의 권고수준으로 알려진 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이하로 나타났으며 최근의 국내 및 국외 연구결과와 농도수준과 유사하였다.

초등학교생들의 혈중 납 농도에 따른 신경행동검사 성적은 3학년에서는 단순반응시간( $p < 0.05$ ), 선택반응시간( $p < 0.05$ ), 부호숫자 짝짓기( $p < 0.01$ ), 손가락 두드리기-

열수( $p < 0.05$ )에서 혈중 납 농도가 증가 할수록 반응시간은 길어지며, 두드리는 횟수는 감소하여 신경행동기능이 유의하게 감소하였다. 6학년에서는 부호숫자 짝짓기에서만 혈중 납 농도가 2.00  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 에서 4.00  $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 높아질수록 반응시간이 유의하게 증가하여 신경행동기능이 감소한 것으로 나타났다. 따라서 혈중 납 농도가 학생들의 신경행동기능에 영향을 미친 것으로 나타났다.

초등학교생들의 혈중 납 농도에 따른 지능검사 성적은 3학년에서는 지능지수( $p < 0.05$ ), 어휘력( $p < 0.05$ ), 추리력( $p < 0.05$ ), 수리력( $p < 0.05$ ), 지각력( $p < 0.05$ )이 6학년에서는 어휘력( $p < 0.05$ )에서만 혈중 납 농도가 높아질수록 유의하게 낮았다. 혈중 납 농도 1.99  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이하 군과 3.00  $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상 군 간에 지능지수 차이는 3학년이 3.21, 6학년이 4.28이었다. 초등학교생들의 학업성취도에 따른 혈중 납 농도에서는 3학년 군( $p < 0.05$ )과 3, 6학년 합계 군에서( $p < 0.05$ ) 평균 혈중 납 농도가 높을수록 학업성취도가 유의하게 낮은 경향을 보였다. 혈중 납 농도와 컴퓨터 신경행동검사의 상관분석에서 3학년은 선택반응시간( $r = 0.220$ )과 부호숫자 짝짓기( $r = 0.336$ ), 6학년은 부호숫자 짝짓기( $r = 0.331$ )와 손가락 두드리기에서 일부 상관성을 보였으며, 혈중 납 농도와 지능검사의 상관분석에서는 3학년은 추리력( $r = -0.247$ ), 6학년은 어휘력( $r = -0.255$ )에서 역상관관계를 보였다.

**결론:** 환경 내 납이 아동들의 중추신경계에 미치는 영향에 관해 많은 연구들이 있어왔으나 국내에서 수행된 연구들은 매우 드물었다. 이 연구의 결과는 납이 초등학교 아동들의 중추신경계에 영향을 미친다는 기존의 이론을 뒷받침하고 있으나 혈중 납 농도가 충분히 높지 못하고, 대상자의 수가 충분히 크지 않아 모든 검사항목들에서 유의한 관련성이 나타나지는 않았다. 따라서 향후 유사한 검사 도구를 사용한 연구들이 추가로 이루어진다면 저농도의 납이 소아 및 아동들의 중추신경계에 미치는 영향을 밝히는데 도움이 될 것이다.

## 참 고 문 헌

- 1) Centers for Disease Control. Preventing Lead Poisoning in Young Children. A Statement by the Centers for Disease Control. Centers for Disease Control(DHHS/PHS). Atlanta. 1991.
- 2) Centers for Disease Control. Preventing Lead Poisoning in Young Children. A Statement by the Centers for Disease Control. Centers for Disease Control (DHHS/PHS). Atlanta. 1985.
- 3) Needleman HL, Bellinger D. The health effects of low level exposure to lead. Annu Rev Public Health 1991;12:111-40.

- 4) Baghurst PA, McMichael AJ, Wigg NR, Vimpani GV, Robertson EF, Roberts RJ, Tong SL. Environmental exposure to lead and children's intelligence at the age of seven years. The Port Pirie cohort study. *N Engl J Med* 1992;327:1279-84.
- 5) Weitzman M, Aschengrau A, Bellinger D, Jones R, Hamlin JS, Beiser A. Lead-contaminated soil abatement and urban children's blood lead levels. *JAMA* 1993;269(13):1647-54.
- 6) American Academy of Pediatrics Committee on Environmental Health: Lead poisoning: from screening to primary prevention. *Pediatrics* 1993;92(1):176-83.
- 7) Sakong J. Health Assessment of Residents Exposure to Contaminated Soil. Final Report (translated by Park KS). Yeungnam University. Daegu. 2005. pp 21-2.(Korean)
- 8) Tellez-Rojo MM, Bellinger DC, Arroyo-Quiroz C, Lamadrid-Figueroa H, Mercado-Garcia A, Schnaas-Arrieta L, Wright RO, Hernandez-Avila M, Hu H. Longitudinal associations between blood lead concentrations lower than 10  $\mu\text{g}/\text{dL}$  and neurobehavioral development in environmentally exposed children in Mexico City. *Pediatrics* 2006;118(2):323-30.
- 9) Canfield RL, Henderson CR Jr, Cory-Slechta DA, Cox C, Jusko TA, Lanphear BP. Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10  $\mu\text{g}$  per deciliter. *N Engl J Med* 2003;348:1517-26.
- 10) Lanphear BP, Dietrich K, Auinger P, Cox C. Cognitive deficits associated with blood lead concentrations  $<10 \mu\text{g}/\text{dL}$  in US children and adolescents. *Public Health Rep* 2000;115:521-9.
- 11) Lee CR, Yoo CI, Lee JH, Lee H, Kim YH. Trend of changes in the level of blood lead, urinary arsenic and urinary cadmium of children in Ulsan; 3-year follow-up study. *Korean J Prev Med* 2001;34(2):166-74.(Korean)
- 12) Yoo CI, Lee JH, Lee CR, Kim SR, Lee SH. Blood lead levels of children in Ulsan industrial area. *Korean J Prev Med* 1998;31(2):240-8.(Korean)
- 13) Lee DH, Lee YH, Kim JH, Park IG, Han TY, Jang SH. Blood lead level and intelligence among children. *Korean J Prev Med* 1995;28(2):373-85.(Korean)
- 14) Park IG, Lee DH, Lee YH, Kim JH, Jang SH. Neurobehavioral change on the lead exposure workers. *Korean J Prev Med* 1995;28(1):175-85.(Korean)
- 15) Krasnegor NA, Otto DA, Bernstein JH, Burke R, Chappell W, Eckerman DA, Needleman HL, Oakley G, Rogan W, Terracciano G. Neurobehavioral test strategies for environmental exposures in pediatric populations. *Neurotoxicol Teratol* 1994;16:499-509.
- 16) Bellinger D. Interpreting the literature on lead and child development: the neglected role of the "experimental system". *Neurotoxicol Teratol* 1995;17:201-12.
- 17) Olden K, Guthrie J. Children's health: a mixed review. *Environ Health Perspect* 2000; 108(6):250-1.
- 18) Schettler T, Stein J. In harm's Way: toxic threats to child development. Greater Boston Physicians for Social Responsibility. Cambridge. 2000.
- 19) Mott L. The disproportionate impact of environmental health threats on children of color. *Environ Health Perspect* 1995;103 Suppl 6:33-5.
- 20) Zartarian VG, Streicker J, Rivera A, Cornejo CS, Molina S, Valadez OF, Leckie JO. A pilot study to collect micro-activity data of two-to four-year-old farm labor children in Salinas Valley, California. *J Exposure Anal Environ Epidemiol* 1995;5:21-34.
- 21) Reed KJ, Jimenez M, Freeman NC, Lioy PJ. Quantification of children's hand and mouthing activities through a videotaping methodology. *J Exposure Anal Environ Epidemiol* 1999;9(5):513-20.
- 22) Cohen Hubal EA, Sheldon LS, Burke JM, McCurdy TR, Berry MR, Rigas ML, Zartarian VG, Freeman NC. Children's exposure assessment: a review of factors influencing children's exposure, and the data available to characterize and assess that exposure. *Environ Health Perspect* 2000;108:475-86.
- 23) Ewers U, Krause C, Schulz C, Wilhelm M. Reference values and human biological monitoring values for environmental toxins. Report on the work and recommendations of the Commission on Human Biological Monitoring of the German Federal Environmental Agency. *Int Arch Occup Environ Health* 1999;72(4):255-60.
- 24) Yu SD. Preliminary Study on Environmental Exposure and Health Effect. National Institute of Environmental Research. 2001.(Korean)
- 25) Hudnell HK, Otto DA, House DE. The influence of vision on computerized neurobehavioral test scores. A proposal for improving test protocols. *Neurotoxicol Teratol* 1996;18:391-400.
- 26) Amler RW, Gibertini M, Lybarger JA, Hall A, Kakolewski K, Phifer BL, Olsen KL. Selective approaches to basic neurobehavioral testing of children in environmental health studies. *Neurotoxicol Teratol* 1996;18(4):429-34.
- 27) Davidson PW, Weiss B, Myers GJ, Cory-Slechta DA, Brockel BJ, Young EC, Orlando M, Loiselle D, Palumbo D, Pittelli R, Sloan-Reeves J. Evaluation of techniques for assessing neurobehavioral development in children. *Neurotoxicology* 2000;21:957-72.
- 28) Baghurst PA, McMichael AJ, Tong S, Wigg NR, Vimpani GV, Robertson EF. Exposure to environmental lead and visual-motor integration at age 7 years. The Port Pirie cohort study. *Epidemiology* 1995;6:104-9.
- 29) Sakong J. Neurobehavioral assessment of the workers exposed to organic solvents. *Korean J Occup Med*

- 2002;41(1):8-15.(Korean)
- 30) Dietrich KN, Berger OG, Succop PA. Lead exposure and the motor development status of urban six year old children in the Cincinnati Prospective Study. *Pediatrics* 1993;91:301-7.
- 31) Mendelsohn AL, Dreyer BP, Fierman AH, Rosen CM, Legano LA, Kruger HA, Lim SW, Courtlandt CD. Low level lead exposure and behavior in early childhood. *Pediatrics* 1998;101:E10.
- 32) Wasserman GA, Staghezza-Jaramillo B, ShROUT P, Popovac D, Graziano J. The effect of lead exposure on behavior problems in preschool children. *Am J Public Health* 1998; 88:481-6.
- 33) Bellinger D, Sloman J, Leviton A, Rabinowitz M, Needleman HL, Wateraux C. Low-level lead exposure and children's cognitive function in the preschool years. *Pediatrics* 1991;87(2):219-27.
- 34) Dietrich KN, Succop PA, Berger OG, Hammond PB, Borschein RL. Lead exposure and the cognitive development of urban preschool children: the Cincinnati lead study cohort at age 4 years. *Neurotoxicol Teratol* 1991;13:203-11.
- 35) Bellinger D, Stiles KM, Needleman HL. Low-level lead exposure, intelligence and academic achievement: a long-term follow-up study. *Pediatrics* 1992;90:855-61.
- 36) Ernhart CB, Morrow-Tlucak M, Marler MR, Wolf AW. Low level lead exposure in the prenatal and early preschool periods: early preschool development. *Neurotoxicol Teratol* 1987;9:259-70.
- 37) Landsdown R, Yule W, Urbanowicz MA, Hunter J. The relationship between blood lead concentrations, intelligence, attainment and behavior in a school population: the second London study. *Int Arch Occup Environ Health* 1986;57:225-35.