

## 연령 및 지역에 따른 한국인 혈 중 수은 분포 연구

정다영<sup>1,2</sup> · 최종호<sup>2</sup> · 이정애<sup>1</sup> · 박경수<sup>1</sup> · 윤혜정<sup>3</sup> · 표희수<sup>1,†</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술연구원 분자인식연구센터, <sup>2</sup>고려대학교 화학과, <sup>3</sup>식품의약품안전평가원 위해분석연구과

### Biomonitoring of Total Mercury in Whole Blood of South Korean by Age and Regional

Dayoung Chung<sup>1,2</sup>, Jong-Ho Choi<sup>2</sup>, Jeongae Lee<sup>1</sup>, Kyung Su Park<sup>1</sup>, Hae Jung Yoon<sup>3</sup>, and Heesoo Pyo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Biomolecules Function Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

<sup>2</sup>Department of Chemistry, Korea University, Seoul 136-713, Korea

<sup>3</sup>National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Cheongwon 363-700, Korea

Received October 12, 2012/Revised December 20, 2012/Accepted December 26, 2012

The present study analyzed total mercury in whole blood from total of 4500 samples: adults = 2000, students = 1000 and infants = 800 (parents = 600), of Korean that were collected between 2010 and 2011 survey years using Gold Amalgamation-Direct Mercury Analyser (DMA-80). Geometric mean (GM) of adults, students and infants (parents) were 3.90 µg/L, 2.15 µg/L, 2.06 µg/L (3.23 µg/L), respectively, showing proportional relationship between age and total mercury concentration in whole blood. When the samples were analyzed in relation to gender, total mercury concentration was higher in male samples (3.11 µg/L) than female samples (2.76 µg/L). When the samples were analyzed in relation region, total mercury concentration was higher in coastal area samples (3.60 µg/L) than inland area samples (2.98 µg/L) with significance ( $p < 0.05$ ). Total mercury concentrations of 496 pairs of mother and infant showed low linearity with  $R^2 = 0.026$ . The above statistical analysis was performed using PASW Statistics 18 (Version 18.0, SPSS, Chicago, IL).

**Key words:** Total mercury, Direct mercury analyzer, South Korean, Blood, Health effect, Biomonitoring

## 1. 서 론

중금속 중 증기압이 높아 유일하게 상온에서 액체로 존재하는 금속인 수은은 대기 중으로 배출되면 제거되지 않고 잔류되어 생태계에 축적되어 일부는 토양, 물 그리고 대기 등을 통해 이동하는 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>. 1956년 일본의 구마모토현 미나마타시에서 메틸 수은이 포함된 어패류를 먹은 주민들에서 수은 중독으로 인해 발생하는 여러 신경학적 증상과 징후를 특징으로 미나마타병이 집단적으로 발생하면서부터 국제적으로 큰 문제가 되어 2000년대에 들어 의학적 사용은 거의 중단 되었다. 그러나 현재에도 실생활에서 온도계, 형광등, 건전지, 치과 치료 등 다양하게 이용되고 있고 어

패류 섭취와 같은 식생활부터 의약품 그리고 화장품까지 여러 경로로 인체에 노출되며 인체에 급·만성 수은 중독을 발생하게 하여 세계적으로 꾸준하게 관심이 증가하고 있다.

수은은 특히 임신부나 가임 여성에 노출 시 태아의 성장에 치명적인 악 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup> 산모의 태반을 쉽게 통과하여 태아에 유전적인 요소로 작용 될 수 있으며<sup>3)</sup>, 태아는 성인보다 수은 노출의 영향이 크게 미쳐 사산 또는 기형아 출산의 위험이 크다고 알려져 있으며<sup>4,5)</sup>, 현재 수은 노출이 많았던 산모의 출생아에게 집중력, 기억력, 언어 능력 등의 장애가 관찰되는<sup>6)</sup> 등의 많은 연구가 진행되고 있다. 그리하여 미국 식품의약품안전청(US FDA, 2001)과 환경 보

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

Tel: +82-2-958-5181, Fax: +82-2-958-5059, E-mail: phs3692@kist.re.kr

호청(US EPA-FDA, 2004)에서는 임신부와 가임 여성은 참치 등 대형어종의 섭취를 제한하도록 권고하고 있다. 또한 성인에게도 체내에 흡수된 수은은 뇌, 간, 신장에 축적되고 중추 신경계, 신장 그리고 면역 계 등에 영향을 미치는 것으로 연구되었다<sup>7)</sup>.

특히 직업적으로 특별히 수은에 노출 되지 않아도 집안 대기 중에서도 노출 될 수 있는 수은은 주택 실내의 평균 6.5-523 ng/m<sup>3</sup>로 연구된 바가 있고<sup>8)</sup>, 수은에 특별히 노출된 적 없는 주민들에게서도 수은의 오염 지역에 거주함으로써 급·만성 수은 중독이 발생 되었다<sup>9)</sup>.

국제적으로 UNEP(United Nations Environment Program)에서는 2001년 2월 수은 화합물에 대한 지구 규모의 전반적인 환경 생태계 오염을 주제로 한 Global Mercury Assessment 사업을 위한 추진 결의안을 채택하였다. UNEP의 Global mercury assessment 사업에 대한 보고서를 통해 지구규모의 수은 오염 정도가 높은 위험수위에 노출되어 있다는 사실이 알려져 많은 사람들이 관심을 갖게 되었다.

전 세계의 수은 배출량의 절반에 가까운 배출하는 지역이 중국 등 아시아 지역이라는 것은 2000년 이후 우리나라에서도 큰 관심을 끌게 되었다.<sup>10)</sup> 국내에서는 수은 노출에 대한 기본적인 자료의 확보를 위해 환경부에서 수은 인체 노출 조사와 수은관리 종합대책을 통하여 대기, 수질 등 수은관리 및 환경모니터링을 진행하고 있으나 아직까지도 체내에 유입되는 노출 요인에 대한 자료가 부족하여 정책반영에 제한이 있어왔다.

수은의 노출 정도를 알 수 있는 대표적인 생체 지표는 무기 수은 노출을 반영하는 소변과 체내의 축적되는 유기수은의 노출을 잘 알 수 있다 알려져 있는 머리카락과 혈액이 있다.<sup>11)</sup> 그 중 머리카락은 머리 손질, 염색 등으로 현대 사람들의 수은 농도에 영향을 주어 정확한 체내 유기수은의 농도를 반영하기 어렵다.<sup>12)</sup> 그리하여 본 연구에서는 제주도를 제외한 전 국민을 대상으로 국내 인구 집단을 대표할 수 있는 표본 집단으로 구축하여 혈 중 총 수은의 노출 정도를 대표 할 수 있는 생체 지표인 혈액을 채취해 혈 중 총 수은의 농도에 영향을 미치는 요소와 함께 상호관계를 보고자 하였다.

## 2. 실험 및 방법

### 2.1. 연구 대상자 및 시료 채취

본 연구는 2010년, 2011년 2년 동안 제주도를 제외

한 전 국민을 대상으로 국내 인구 집단을 대표할 수 있는 표본 집단으로 구축된 성인 2000여명, 아동 및 청소년 1000여명, 영 유아 800여명(영 유아의 부모 600여명) 총 약 4500명에 대해 채혈과 동시에 설문조사를 통해 성별, 연령, 주거지 등의 기본 조사를 함께 실시하였다. 본 연구는 윤리적 근거를 마련하기 위해 연구자가 속한 기관의 연구윤리기구에서 승인을 받아 시료를 채취하였다(승인번호: DKUHIRB2010-04-0093, 과제번호: 1004-026, 승인일자: 2010.04.15).

### 2.2. 실험 시약 및 기기

#### 2.2.1. 시약

본 연구에서 사용한 수은 표준용액은 Kanto Chemical(Tokyo, Japan)에서 구매하였고, 5% H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>을 제조하기 위해 Dongwoo Fine-Chem.(Iksan, Korea)사의 순도 65%의 반도체급 H<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>과 Milli-Q water purification system(Millipore, MA, USA)을 이용하여 저항 18.2 Ω을 통과한 3차 증류수를 사용하였다.

#### 2.2.2. 분석기기

수은의 분석은 자동수은분석기(Direct Mercury Analyzer-80, Milestone, Italy)를 이용하였다. 장비 내 분해로에서 조절된 열에 의해 혈액으로부터 산화된 수은이 건조과정을 거치며 분해되어 촉매제가 있는 곳으로 이동되며 할로젠과 질소, 황산화물은 포집되고, 남은 분해물들은 아말감으로 이동 후 수은만 선택 후 남은 분해물들과 가스는 배출시킨다. 그 후 amalgamator는 650°C까지 승온하여 선택된 수은 증기를 분리시켜 흡광셀로 이동하고, 원자 흡광 광도계를 이용하여 단일 파장(253.7 nm)에 의해 흡광도가 측정된다.

### 2.3. 분석 방법

#### 2.3.1. 전처리

본 연구는 특별한 전처리 없이 roll-mixer에 시료를 30분 이상 균질화하여 nickel boat에 100 mg 무게를 재어 취한 후 열 분해하여 수은 원자를 증기화 시키고 생성된 수은증기를 골드아말감으로 포집하여 그 원자 증기를 통과하는 빛으로부터 측정파장의 빛을 흡수하는 현상을 이용하여 수은을 정량한다.

#### 2.3.2. 표준용액의 제조 및 검정 곡선

시판되는 1000 mg/L 농도의 수은 표준원액을 0.05 g 취하여 5% 질산 용액에 1 mg/L가 되도록 500 mL

volumetric flask에 희석하였다. 그 후 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50  $\mu\text{g/L}$ 의 농도가 되도록 각각 50 mL volumetric flask에 희석하여 표준 검정곡선을 작성하는데 사용하였다.

### 2.3.3. 정도 관리

확립된 분석방법 및 기기조건을 검증하기 위하여 미국 NIST(National Institute of Standard & Technology)에서 구입한 표준참고물질(SRM, Standard Reference Material) 955c를 구입하여 혈 중 수은에 대한 정도 관리를 수행하였고, 시험 내(Within-run), 분석 배치 내(Intra-batch) 실측값과 10% 이내의 재현성을 확인하기 위해 시료 120개를 1 batch로 하여 10개마다 같은 배치내의 시료를 재측정 하여 확인하였고, 품질관리시료(Quality control blood)로 재 측정된 시료와 같은 방법으로 시료 10개마다 측정하여 분석 배치 내(Intra-batch), 분석 배치 간(Intra-batch) 정밀성과 재현성을 확인하였다.

### 2.4. 통계처리방법

본 연구에서 사용한 설문 조사 및 수은 농도 처리 및 상관성은 PASW Statistics 18(Version 18.0, SPSS, Chicago, IL)을 이용하여 확인 하였다. 전체 조사 대상자의 수은 농도에 영향을 미치는 요인들에 대하여 유의성 평가를 실시하였고 그 결과를 바탕으로 선택된 변수에 대하여 다중 회귀 분석을 실시하였다. 이때 장비의 검출 한계는 0.2 ppb로 0.2 ppb 이하로 검출된 시료의 농도 값은 N.D. 처리 하고  $0.1414(\text{장비검출한계}/2^{1/2}) \mu\text{g/L}$ 로 계산하였다. 본 연구의 모든 평균 농도 값은 기하평균(Geometric mean)으로 비교하였고, 통계는 95% 신뢰구간으로 계산되었으며  $p$ -value가 0.05 미만인 경우를 통계적 유의한 것으로 간주하였다.

영 유아와 영 유아의 부모는 각각 혈 중 총 수은 분석이 모두 이루어진 547쌍을 대상으로 상관관계를 파악하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1. 실험 결과

#### 3.1.1. 정도 관리 결과

혈액 내 수은의 분석법의 유효성을 검증하기 위하여, NIST(National Institute of Standard & Technology)에서 기준 값이  $4.95 \mu\text{g/L} \pm 0.76$ 인 표준참고물질(SRM;

Standard Reference Material) 955c Level 2를 구입하여 정도 관리를 수행한 결과  $5.13 \mu\text{g/L} \pm 0.46(N=18)$ 로 측정되었고, 정밀도 0.04%, 정확도 8.88%로 확인되었다(Fig. 1).

분석 배치 내 재현성의 확인을 위해 시료 10개마다 같은 배치 내의 시료를 한번 더 측정하여 재현성을 확인 하였고 그 결과는 Fig. 2에 나타냈다. 또한 분석 배치 내, 분석 배치 간 재현성의 확인을 위해 품질관리시료(Quality Control Blood)로 사용 한 혈액을 반복 측정하여  $7.55 \mu\text{g/L} \pm 0.56$ 의 농도로 측정되어, 이 품질관리시료는 시료 10개마다 같은 배치의 시료를 재 측정하여 확인하여 재현성을 확인하는데 사용되었고 시료 10개마다 측정한 결과  $7.29 \mu\text{g/L} \pm 0.58(N=585)$ 로 정밀도 0.04%, 정확도 8.03%로 확인되었다(Fig. 3).

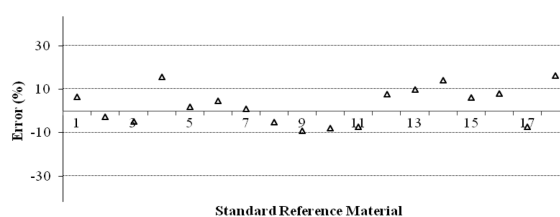


Fig. 1. Percentage error of total mercury concentration in sample and Standard Reference Material (N=18); reference value  $4.95 \mu\text{g/L} \pm 0.76$ .

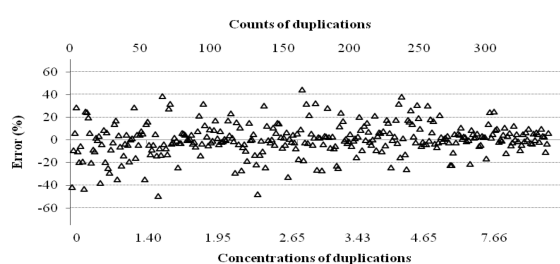


Fig. 2. Percentage error of total mercury concentration in sample and its duplication (N=322).

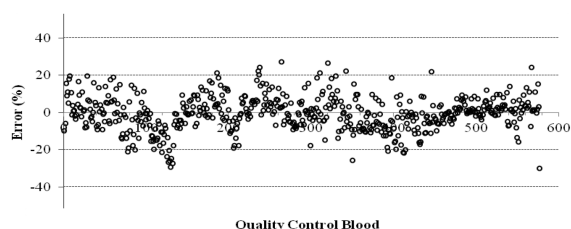


Fig. 3. Percentage error of total mercury concentration in sample and quality control sample (N=585); reference value  $7.55 \mu\text{g/L} \pm 0.56$ .

## 3.1.2. 실험 결과

본 연구는 성인 2000여명, 아동 및 청소년 1000여명, 영 유아 800여명(영 유아의 부모 600여명) 총 4500여명을 분석하여 설문조사를 통해 성별, 연령 및 거주지역 등의 기본정보를 얻어 비교하였고, 이때 영 유아의 부모인 약 600명의 혈 중 수은 농도는 영 유아와 영 유아의 부모(여성)와의 혈 중 총 수은 농도에 대한 상관관계를 비교할 때만 사용하였다.

그 결과 성인, 아동 및 청소년, 영 유아 그리고 영 유아의 부모의 혈 중 수은 농도의 기하평균(Geometric mean)은 각각 3.90 µg/L, 2.15 µg/L, 2.06 µg/L, 3.23 µg/L로 나타났고, 총 4500여명의 기하평균은 2.96 µg/L이다. 검출 범위는 0.200 µg/L-41.953 µg/L, 검출률은 99.85%로 나타났다(Table 1).

연령에 따른 혈 중 총 수은 농도의 비교를 위해 총 10개의 그룹으로 나누었다.

영 유아는 2세 이하(0-24개월), 2-4세(25-48개월), 5-6세(49-72개월)로 3개의 그룹, 아동 및 청소년은 7-12세, 13-19세로 2개의 그룹으로 나누었고 성인은 20대, 30대, 40대, 50대, 60대 이상으로 5개의 그룹으로 나눠 연령대별 비교하여 Table 2에 나타내었다. 그 결과 연령이 증가 할수록 혈 중 총 수은의 농도가 꾸준히 증가하다 60대 이후에 줄어드는 것으로 나타는 경향을 보였다. 전체 연령대에서 50대의 기하평균값이 4.443 µg/L으로 가장 높았으며, 성별의 혈 중 총 수은 농도를 기하평균 값으로 비교했을 때 남성(3.113 µg/L)이 여성(2.765 µg/L)보다 높게 나타났으며 이 결과들은 독립 표본 t-검정을 통해 유의한( $p < 0.05$ ) 것으로 확인하였다

**Table 2.** Levels of total mercury concentration in whole blood by age (µg/L)

Age (years)	N	Geometric mean	Median	Min. <sup>a</sup>	Max. <sup>b</sup>
<2	60	1.348	1.501	0.141	6.464
2-4	225	2.242	2.279	0.141	25.536
5-6	479	2.085	2.071	0.141	7.041
7-12	768	2.090	2.187	0.141	10.921
13-19	393	2.273	2.32	0.231	19.065
20-29	324	2.924	2.935	0.464	14.834
30-39	383	3.928	3.728	0.817	26.657
40-49	490	4.364	4.237	0.829	41.953
50-59	483	4.443	4.357	0.457	30.353
60<	363	4.010	3.882	0.469	24.713
Total	3968	2.924	2.872	0.141	41.953

<sup>a</sup>Min: Minimum, <sup>b</sup>Max: Maximum

**Table 3.** Levels of total mercury in whole blood by gender; p-value 2.44E-21 (µg/L)

	N	Geometric mean	Median	Min. <sup>a</sup>	Max. <sup>b</sup>
Male	1865	3.113	3.026	0.141	41.953
Female	2104	2.765	2.744	0.141	25.536
Total	3969	2.924	2.872	0.141	41.953

<sup>a</sup>Min: Minimum, <sup>b</sup>Max: Maximum

(Table 3).

연령대별로 나눈 7개의 그룹(취학 전, 초등학교, 중학교, 20대, 30대, 40대, 50대, 60대 이상)으로 나누어 비교를 했을 때 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 영 유아의 그룹들은 여성이 남성보다 높았으나 아동 및 청

**Table 1.** Comparisons of total mercury concentration in whole blood between United States, Germany and Korea populations (µg/L)

	Year	N (Age)	Geometric mean	P50 <sup>a</sup>	Min. <sup>b</sup>	Max. <sup>c</sup>	LOD	
본 연구	2010-2011	Adult	2114 (20+)	3.902	3.829	0.457	41.953	
		Student	1091 (7-19)	2.152	2.218	0.141	19.065	
		Children	Children	773 (0-6)	2.063	2.088	0.141	25.536
			Mother	591 (20-30 <sup>th</sup> )	3.232	3.251	0.446	28.170
		Total	4569	2.960	2.919	0.141	41.953	
국민건강영양조사 <sup>13)</sup>	2009	1991 (20+)	4.25			-		
국민생체시료 중 유해물질실태조사 <sup>14)</sup>	2008	5098 (18+)	3.00			-		
U.S.A (NHANES) <sup>15)</sup>	2005-2006	8407 (12+)	0.86			0.33		
Germany (GerES) <sup>16)</sup>	2003	1563 (3-14)	0.23			0.20		

<sup>a</sup>P50: 50 percentile, <sup>b</sup>Min: Minimum, <sup>c</sup>Max: Maximum

소년부터 성인까지 남성이 여성보다 혈 중 총 수은 농도가 눈에 띄게 높은 경향을 보였다. 이것은 식이 섭취, 흡연 여부 등이 원인일 것이라 예측할 수 있다.

거주 지역이 혈 중 총 수은에 영향을 미치는지를 관찰하기 위해 제주도를 제외한 전국을 성인과 아동 및 청소년을 대상으로 15개 시, 도(강원, 경기, 경남, 경북, 광주, 대구, 대전, 부산, 서울, 울산, 인천, 전남, 전북, 충남, 충북)로 분류하여 비교 하였다. 그 결과는 Table 4에 나타난 것과 같이 경북 지역의 거주 주민의 혈 중 총 수은 농도는 6.326 µg/L로 가장 높았으며 서울, 경기도는 각각 2.904 µg/L, 3.206 µg/L 그리고 가장 낮은 농도의 지역으로 관찰된 충북의 기하평균 값은 2.264 µg/L로 나타났다. 거주 지역과 성별의 관계를 비교했을 때도 지역만을 비교했을 때 가장 높았던 경북의 남성과 여성의 혈 중 총 수은 농도의 기하평균 값이 각

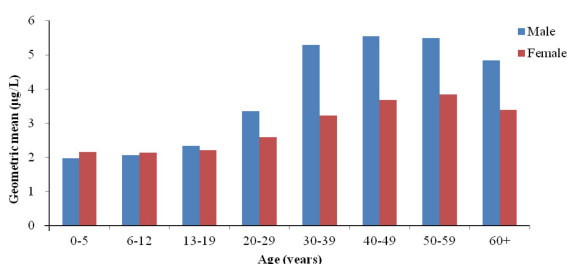


Fig. 4. Comparison of total mercury concentrations between age and gender.

Table 4. Levels of total mercury in whole blood by regional groups (µg/L)

Regional groups	N	Geometric mean	Median	Min.	Max.
Gyeongbuk	151	6.326	6.125	1.391	32.169
Ulsan	66	5.910	6.978	0.957	25.574
Daegu	126	4.056	4.077	0.764	16.385
Jeonbuk	130	3.808	3.662	1.242	26.657
Chungnam	144	3.269	3.427	0.966	14.722
Jeonnam	252	3.232	2.988	0.714	23.181
Gyeonggi	391	3.206	3.174	0.817	17.287
Busan	261	3.169	3.037	0.231	23.796
Kangwon	282	3.102	2.908	0.462	15.773
Gyeongnam	358	3.090	3.201	0.141	14.914
Incheon	112	3.012	3.170	0.575	14.673
Seoul	410	2.904	2.854	0.464	41.953
Daejeon	84	2.870	2.973	0.925	23.913
Gwangju	201	2.350	2.265	0.690	9.667
Chungbuk	237	2.264	2.269	0.227	20.065
Total	3205	3.179	3.089	0.141	41.953

<sup>a</sup>Min: Minimum, <sup>b</sup>Max: Maximum

각 9.080 µg/L, 4.470 µg/L 로 높게 나타났다(Fig. 5). 이때 경북, 울산 등 해안지역이 충북, 광주, 대전 등의 내륙 지역보다 대체적으로 높은 것으로 관찰되어, 거주 지역을 해안지역과 내륙지역으로 나눠 성별로 다시 비교 해 본 결과(Table 5) 해안 지역(3.503 µg/L)이 내륙 지역(2.923 µg/L)의 대상자들보다 혈 중 총 수은의 기하평균의 값이 높게 나타났다. 또한 남성의 경우 해안 지역(3.934 µg/L)이 내륙 지역(3.332 µg/L)의 대상자들보다 높은 경향( $p < 0.05$ )을 나타내는 것으로 보아 해안 지역의 사람들이 내륙 지역의 사람들보다 어패류를 쉽게 접할 수 있는 식이 환경 요인이 혈 중 총 수은의 농도에 영향 미친 것으로 판단된다.

본 연구에서는 영 유아와 영 유아의 부모(여성)의 혈 중 총 수은 농도의 상관관계를 파악하기 위해 영 유아와 영 유아의 부모 모두 분석된 547쌍 중 각각의 정규분포 95% 중 짝이 맞는 495쌍을 대상으로 상관관계를 파악하고, 통계 프로그램인 PASW Statistics 18 (Version 18.0, SPSS, Chicago, IL)으로 다중 회귀 분석을 실시하였다. 영 유아와 영 유아의 부모의 혈 중

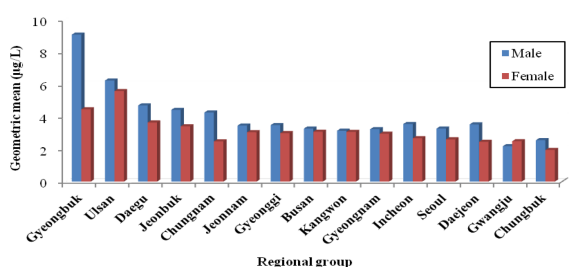


Fig. 5. Comparison of total mercury concentrations between region and gender

Table 5. Comparison of males and females for total mercury concentration in whole blood by regional ( $p$ -value is 1.00E-35) (µg/L)

	N	Geometric mean	Median	Min. <sup>a</sup>	Max. <sup>b</sup>	
Coast	Male	505	3.934	3.757	0.141	32.169
	Female	978	3.300	3.339	0.319	41.953
	Total	1483	3.503	3.454	0.141	41.953
Inland	Male	560	3.332	3.159	0.141	24.518
	Female	1162	2.745	2.765	0.227	22.792
	Total	1722	2.923	2.896	0.141	24.518
Total	Male	1065	3.605	3.390	0.141	32.169
	Female	2140	2.986	2.997	0.227	41.953
	Total	3205	3.179	3.089	0.141	41.953

<sup>a</sup>Min: Minimum, <sup>b</sup>Max: Maximum

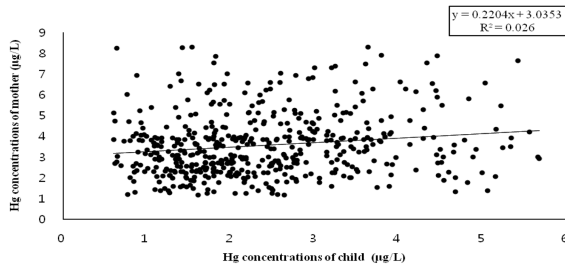


Fig. 6. Correlation of mercury concentration in child and mother pairs (N=495)

Table 6. Correlation of mercury concentration in child and mother pairs (N=495)

	Geometric mean	Median	Min. <sup>a</sup>	Max. <sup>b</sup>
Child	2.138	2.170	0.605	5.674
Mother*	3.264	3.343	1.151	8.307
Control** (Female 20-45 years)	3.034	3.041	1.056	9.942

\*: p-value is 3.19E-04, \*\*: p-value is 6.64E-03

<sup>a</sup>Min: Minimum, <sup>b</sup>Max: Maximum

총 수은 농도의 상관관계는 Fig. 6와 같이  $R^2$ 값이 0.026으로 낮은 값을 나타내 상관성은 적었지만, 이 후 다중 회귀 분석을 실시한 결과 큰 영향을 끼치지 않지만 유의한( $p < 0.05$ ) 것으로 나타났으며, 영 유아의 부모(여성)와 연령대가 비슷한 20-45세의 여성의 대상으로 다중 회귀 분석을 실시한 결과( $p < 0.05$ ) 또한 유의한 것으로 나타났다(Table 6).

### 3.2. 고찰

본 연구는 성인 2000여명, 아동 및 청소년 1000여명, 영 유아 800여명(영 유아의 부모 600여명)의 혈 중 총 수은을 분석하여 연령대별 총 10개의 그룹(2세 이하, 2-4세, 5-6세, 7-12세, 13-19세, 20대, 30대, 40대, 50대, 60대 이상)으로 나누어 연령대별 비교하여 연령이 높을수록 혈 중 총 수은의 농도도 높아지다 60대 이후 감소하는 경향을 보였다. 이 결과는 국립환경과학원에서 실시한 국민환경기초보건조사에서 연구된 결과와 비슷한 경향을 볼 수 있었다.<sup>17)</sup> 총 4500여명의 총 수은 농도의 기하 평균 값은 2.96 µg/L로 크게 높은 농도는 아니었다. 그러나 EPA의 기준인 5.8 ppb에<sup>18)</sup> 성인, 아동 및 청소년 그리고 영 유아는 각각 25%, 2.7%, 2.1%가 노출 농도 기준을 초과하였고, 독일의 생체모니터링위원회(일반인에게 건강영향이 나타나지 않는다고

제시한 농도 값(HBM I)인 5 ppb에는 각각 32%, 4.4%, 4.6%가 초과하였다. 또한 민감한 사람에게 영향을 미칠 수 있는 수준으로 권고하는 농도 값(HBM II)인 15 ppb에는 성인 2.4%와 아동 및 청소년 0.18%, 영 유아 0.13%가 노출 농도 기준을 초과하였다.<sup>19)</sup>

우리나라와 생활환경과 식이 섭취가 유사한 일본의 3-18세 어린이를 대상으로 조사된 연구의 혈중 총 수은 농도는 2.4-2.7 µg/L로<sup>20)</sup> 본 연구의 영 유아(0-6세, 2.063 µg/L), 아동 및 청소년(7-19세, 2.152 µg/L)와 비교했을 때 비슷한 수준을 보여 주었다. 미국 NHANES (National Health and National Examination Survey)의 1999-2002년에 실시된 1-5세 영 유아를 대상으로 조사된 연구 결과의 혈 중 총 수은 농도(2.21 µg/L)와<sup>21)</sup> 본 연구(2.06 µg/L)는 비슷한 값을 보였으나 2005-2006년에 시행된 12-19세의 경우 0.51 µg/L, 20세 이상은 1.06 µg/L로 보고되어 본 연구의 청소년(13-19세, 2.273 µg/L)과 성인(3.902 µg/L)이 더 높은 농도를 보여 주고 있다. 또한 미국 ASTDR이 초등학교를 대상으로 혈 중 총 수은의 농도를 연구한 결과(1.39 µg/L)보다는<sup>22)</sup> 본 연구의 초등학교(7-12세, 2.090 µg/L)이 높게 나타났다.

국내에서 연구된 결과들과 비교 했을 때 국내에 앞서 조사한 초등학교를 대상의 연구에서 혈 중 수은 농도(2.42±1.02 µg/L)와<sup>23)</sup> 연령대비 비슷한 수준을 보여 주고 있고, 성인을 대상으로 2005년에 조사한 국민 생체시료 중 유해물질 실태조사(4.34 µg/L)와<sup>24)</sup> 2008, 2009년에 실시한 국민 건강 영양조사(4.73 µg/L, 4.25 µg/L)에 비해서는 낮게 나타났다.<sup>25)</sup>

총 수은은 주로 식이 섭취로 인해 체내에 유입되는 것으로 알려져 있고, 음식의 경우 어패류의 섭취가 가장 큰 노출요인으로 꼽힌다.<sup>26)</sup> 생태계에서 먹이 사슬을 통해 인체 내로 유입 되는 것으로 알려져 어패류의 섭취가 많을수록 체내의 수은 함량이 높다는 것은 많은 연구 결과를 통해 알려져 있다.<sup>27)</sup> 또한 거주 지역, 어류 선호도 및 섭취 빈도가 혈액 수은 농도와 관련성이 높은 것으로 조사되었다.<sup>16)</sup>

본 연구에서는 성인과 아동 및 청소년을 대상으로 쉽게 어패류를 접할 수 있는 해안 지역과 그렇지 않은 내륙 지역으로 나누어 비교한 결과 해안 지역(3.503 µg/L) 이 내륙 지역(2.923 µg/L)의 높게 나타났고, 전국의 15개 도, 시(강원, 경기, 경남, 경북, 광주, 대구, 대전, 부산, 서울, 울산, 인천, 전남, 전북, 충남, 충북)로 분류하여 비교해 본 결과 경북(6.326 µg/L), 울산(5.910

µg/L) 등의 해안 지역이 서울(2.904 µg/L), 충북(2.264 µg/L) 등의 내륙 지역보다 높게 나타났다. 특히 수은 농도가 높다 알려진 뚝배기를<sup>28)</sup> 전통적으로 제사 음식으로 올리는 것으로 알려진 경북 영천시의 대상자(N=50)의 혈 중 총 수은 농도가 9.007 µg/L로 높았고, 경북, 울산 등 영남 지역의 대상자들의 혈 중 총 수은 농도가 다른 지역보다 높은 것으로 나타나는 것으로 보아 어패류 등 쉽게 접할 수 있는 영남 지역의<sup>29)</sup> 식이 환경이 큰 요인으로 판단되었다.

비슷한 식생활을 갖고 있는 영 유아와 영 유아의 부모의 상관관계는 R<sup>2</sup>값이 0.026으로 낮은 값을 나타내 상관성은 미미하지만 통계적으로 유의 한( $p < 0.05$ ) 것으로 나타났다. 이것은 맞벌이 부모가 늘어남에 따라 조 부모와 생활하거나 보육원 등에서 생활하는 영 유아가 증가해 부모와 다른 환경을 접하거나 비록 영 유아와 영 유아의 부모가 함께 생활해도 비슷한 식생활을 갖는 것은 아닌 것으로 사료되었다.

총 수은은 인체 내의 머리카락과 혈액에서 각각 33~120일, 99~120일의 반감기를 갖고 배출되는 것으로<sup>30)</sup> 알려져 있으나 실생활에서 여러 경로로 체내에 쉽게 노출 될 수 있어 환경 요인들과 혈 중 총 수은의 관계를 보고자하였다. 설문조사를 통해 얻을 수 있는 거주 지역, 식이 섭취 등의 기본적인 정보로만은 혈 중 총 수은과의 관계를 관찰하기에 많은 제한 있어 알려진 요소뿐만이 아닌 더 많은 기본 정보를 얻고 유전적 요소, 작업 환경, 흡연 여부, 화장품 등 체내에 노출 될 수 있는 요소의 더 많은 연구가 필요 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 제주도를 제외한 15개의 시, 도에서 2010년, 2011년 2년 동안 전 국민을 대상으로 국내 인구 집단을 대표할 수 있는 표본 집단으로 구축된 성인 2000여명, 아동 및 청소년 1000여명, 영 유아 800여명(영 유아의 부모 600여명) 총 4500여명에 대해 총 수은을 분석한 결과 2.96 µg/L로 나타났다. EPA (5.8 ppb)와 독일(HBM I: 5 ppb, HBM II: 15 ppb)에서 권고하는 기준 치는 넘지 않았으나, 영 유아의 부모를 제외한 4000여명을 대상으로 비교한 결과 EPA, CHBM의 HBM I, HBM II의 기준 농도 값에 각각 14%, 19%, 1.4%가 초과하는 것으로 나타났다. 15개 도시로 분류하여 비교했을 때 경북, 울산 등 해안 지역이 내륙

지역에서 거주하고 있는 대상자들보다 혈 중 총 수은 농도가 더 높은 것으로 보아 거주 지역과, 식이 환경 요인이 일부 영향을 받는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 2011년도 식품의약품안전청 용역연구개발 과제의 연구개발비 지원(10162유해평994)에 의해 수행 되었으며, 한국과학기술연구원 기관과유사업으로부터 지원받아 연구되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Ronchchetti, R., Zuurbier, M., Jesenak, M., Koppe, J. G., Ahmed, U. F., Ceccatelli, S., and Villa, M. P. *Acta Paediatrca*, **2006**, 95, 36-44.
2. Björnberg, K. A., Vahter, M., Berglund, B., Niklasson, B., Blennow, M., and Sandborgh-Englund, G., *Environ Health Perspect*, **2005**, 113, 1381-1385.
3. Lauwery, R., Buchet, J. P., Roels, H., and Hubermont, G., *Environmental Research*, **1978**, 5, 278-289.
4. Gray, D. G., *Toxicology and Applied Pharmacology*, **1995**, 132, 91-102.
5. Steuerwald, U., Weibe, P., Jorgensen, P. J., Bjerve, K., Brock, J., Heinzow, B., Budtz-Jorgensen, E., and Grandjean, P., *Journal of Pediatric*, **2000**, 136, 599-605.
6. Weil, M., Bressler, J., Parsons, P., Bolla, K., Glass, T., and Schwartz, B., *Journal of the American Medical Association*, **2005**, 293, 1875-1882.
7. Fowler, B. A. and Woods, J. S., **1975**, "Pathobiology of Cell Membranes", *Arstila, A.U.* Academic Press. NY, USA.
8. Garetato, C., M. Gochfeld, and A. H. Stern, *Environ. Health Perspect*, **2006**, 114, 59-62.
9. Putman, J. J., *Natl. Geogr. Mag.*, **1972**, 144, 507-527.
10. 국립환경과학원, 수은의 인체노출 및 건강영향에 관한 연구(III), **2007**.
11. Grandjean P, Weihe P, Nielsen JB., *Clin Chem*, **1994**, 40, 1395-1400.
12. Dakeishi, M., Nakai, K., Sakamoto, M., Iwata, T., Suzuki, K., Liu, X. J., Ohno, T., Kurosawa, T., Satoh, H., and Murata, K., *Environ. Health Prevent. Med.*, **2005**, 10, 208-212.
13. 보건복지부, 국민 건강 영양조사, **2009**.
14. 환경부, 국민 생체 시료 중 유해물질 실태 조사, **2008**.
15. CDC(Centers for Disease Control and Prevention), NHANES(National Health and Nutrition Examination

- Survey); [www.cdc.gov/nchs/nhanes/nhanes2005-2006/THGIHG\\_D.htm](http://www.cdc.gov/nchs/nhanes/nhanes2005-2006/THGIHG_D.htm), **2006**.
16. Umwelt Bundes Amt, German Environmental Survey; <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3355.pdf>, **2003**.
  17. 국립환경과학원, 국민환경기초보건조사, **2011**.
  18. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), Mercury, elemental; <http://www.epa.gov/iris/subst/0370.htm>, **1995**.
  19. Umwelt Bundes Amt, CHBM(Commission on Human Biological Monitoring); <http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit-e/survey/us98/blut.htm> **1998**.
  20. Tsuda, M., Hasunuma, R., Kawanishi, Y., and Okazaki, I., *Tokai J Exp Clin Med.*, **1995**, 20, 53-64.
  21. CDC (Centers for Disease Control and Prevention), NHANES(National Health and Nutrition Examination Survey); [www.cdc.gov/nchs/nhanes/nhanes2001-2002/L06\\_B.htm](http://www.cdc.gov/nchs/nhanes/nhanes2001-2002/L06_B.htm), **2002**.
  22. ASTDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), Toxicological Profile for Mercury; <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf>, **1999**.
  23. 김근배, 김대선, 이종화, 박희진, 위선승, *한국환경보건학회지*, **2007**, 33, 386-391.
  24. 환경부, 국민 생체시료 중 유해물질 실태 조사, **2005**.
  25. 보건복지부, 국민 건강 영양조사, **2008**.
  26. Mahaffey, K. R., Clickner, R. A., and Budorow, C. B., *Environmental Health Perspectives*, **2004**, 112, 562-570
  27. Airey D., *Sci Total Environ.*, **1983**, 31, 157-180.
  28. 식품의약품안전평가원, 유해물질 안전관리 통합노출평가 기반연구, **2010**.
  29. 국립환경과학원, 영남지역 주민 수은노출 실태조사, **2011**.
  30. Birke, G., Johnels, A. G., Plantin, L. O., Sjostrand, B., and Skerfving, S., *Archives of Environmental Health*, **1972**, 25, 77-91.