

## 일부 지역 주민들의 모발 수은 농도와 혈중 수은 농도와의 상관성

김경연 · 서정욱 · 김병권 · 김유미 · 김록범 · 김대선\* · 김정만 · 김춘진\*\* · 홍영습\*\*\*†

동아대학교 의과대학 예방의학교실, \*국립환경과학원 환경역학과,  
\*\*국회의원, \*\*\*중금속 노출 환경보건센터

### Correlation between Hair Mercury Concentration and Blood Total Mercury in Several Area Residents

Gyeong-Yeon Kim, Jeong-Wook Seo, Byoung-Gwon Kim, Yu-mi Kim, Rock-Bum Kim,  
Dae-Seon Kim\*, Jung-Man Kim, Choon-Jin Kim\*\*, and Young-Seoub Hong\*\*\*†

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

\*Division of Environmental Epidemiology, National Institute of Environmental Research(NIER)

\*\*National Assembly

\*\*\*Heavy Metal Exposure Environmental Health Center

#### ABSTRACT

**Background:** This study was carried out for the purpose of comprehensively evaluating the mercury exposure level of residents in several areas and the correlation between hair mercury concentration and blood mercury concentration.

**Method:** One thousand one hundred ninety seven subjects were sampled from 30 sites using random assignment sampling. We performed a questionnaire survey and measured the level of total mercury in hair and blood samples from all subjects.

**Results:** The geometric mean concentrations of hair and blood mercury in all subjects were 1.27 mg/kg [95% confidence interval (CI): 1.23-1.32 mg/kg] and 5.24 µg/L [95% CI: 5.07-5.41 µg/L], respectively. Male (1.56 mg/kg in hair, 6.00 µg/L in blood) was significantly higher than that of female (1.03 mg/kg in hair, 4.56 µg/L in blood), and the concentrations were elevated as age increased up to the 50s. Education, smoking, alcohol drinking, and using of pesticides were also shown to influence mercury concentrations in hair and blood. The ratio of hair/blood mercury concentration was 261.3. The total mercury concentration in hair was identified to be significantly related with total mercury concentration in blood ( $r=0.814$ ,  $p<0.001$ ).

**Conclusion:** The geometric mean concentrations of hair and blood mercury were higher than the levels provided in international recommendations. The total mercury concentration in hair was positively correlated with the concentration in blood. The results of this study suggest that hair mercury be considered as a useful tool for the evaluation of mercury exposure.

**Keywords:** hair mercury, blood mercury, correlation

#### I. 서 론

수은은 상온에서 유일하게 액체 상태로 있는 은백

색의 금속원소로 환경 내에 존재하는 수은의 형태는 유기수은과 무기수은으로 구분할 수 있다. 일반적으로 환경 중에 존재하는 형태는 무기수은이지만, 인

†Corresponding author: Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Dong-A University, Tel: 82-51-240-2888, Fax: 82-51-253-5729, E-mail: jw.selab@gmail.com

Received: 4 January 2013, Revised: 21 February 2013, Accepted: 25 March 2013

체 내에서는 유기수은인 메틸수은이 대부분을 차지하고 있다.

수은은 환경 중에 존재하며 순환되어 물에 녹은 무기수은 형태로 산화되었다가, 지표면에서 수은증기형태로 바뀌거나 담수와 해수의 퇴적물 속에 있는 미생물에 의해 메틸화 된다. 자연적으로 생긴 메틸수은은 플랑크톤, 식물을 먹는 물고기, 육식물고기, 바다포유류 등 차례대로 먹이사슬을 통해 축적이 된다. 따라서 먹이 사슬의 꼭대기에 있는 큰 생선의 섭취가 가장 중요한 사람 노출 경로이다. 이외에도 차아 아말감이 일반인들의 수은 노출 경로인데, 흡수된 수은은 혈액과 조직 내 단백질에 결합하여 우리가 어렵고 반감기가 40~80일 정도로 체외 배설이 늦어 체내에 축적되기가 쉽다.<sup>1)</sup> 인체에 축적된 수은은 대부분 중추 신경계에 영향을 미치나, 신장과 면역계에도 건강 장애를 일으키는 것으로 보고되고 있다.<sup>2)</sup>

뿐만 아니라 유기수은은 혈액-뇌장벽(blood-brain barrier)를 쉽게 통과하며, 태아는 아동과 성인보다 수은 노출에 민감하여 산모가 중독 될 경우 태아가 신경계 질환으로 지체부자유자로 태어나기도 한다. 이러한 수은으로 인한 대표적인 건강 피해사례는 1965년 일본에서 발생한 미나마타 병 사건으로 뿐만 아니라 이라크, 탄자니아, 아마존 지역 등에서도 그 피해 사례가 보고되었다.<sup>3)</sup>

체내에 흡수된 수은은 혈액을 통하여 모발을 비롯한 각 조직에 축적된다. 따라서 인체 내 수은의 양을 측정하는 방법으로 각 장기 조직에서의 수은 농도를 측정하는 것이 가장 정확하나, 많은 어려움이 따르므로 혈액, 요, 모발, 손톱 등의 검체를 사용하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 수은은 다양한 성상으로 존재하여 각 검체마다 대표하는 성상이 다른데, 그 중 모발과 혈액은 여러 형태의 수은 중 특히 메틸수은의 노출 정도를 잘 반영하는 검체로 알려져 있다.<sup>4,5)</sup>

전통적으로 혈액과 소변을 이용한 수은 농도 분석이 많이 이루어지고 있는데, 혈액은 일정한 농도 이상의 영양원소 및 중금속이 혈액 속으로 유입되면 과다한 성분의 원소를 혈액 밖으로 배출시키는 속성이 있으므로 혈액 검사만으로는 수은 노출이 진행되는 상태를 완전하게 파악할 수 없다. 그리고 소변은 체외로 배출되는 양만 측정되므로 현재 체내에 존재하는 성분들의 진행 상태를 알기에는 부족하다. 이에 반해 모발은 80~90%가 케라틴단백질로 구성

되어 있고 케라틴은 금속과 쉽게 결합 하는 산성기를 가지고 있기 때문에 축적도가 높아 긴 기간 동안의 수은 축적 정도를 잘 나타내고 있다.<sup>6)</sup>

지금까지 수은의 노출 수준과 이로 인한 체내 노출 지표에 대한 폭넓은 연구가 보고 되었고, 세계보건기구(World Health Organization, WHO), 독일 인체 모니터링 위원회(Clinical Human Biological Monitoring, CHBM)등의 기관에서 노출기준을 정하여 수은 노출 정도를 관리하고 있다. 많은 연구가 혈액과 소변 검체로 진행되었지만, WHO에서 제시하고 있는 모발 수은 농도 노출기준 1-2 mg/kg<sup>7)</sup>를 제외하고는 노출기준이 명확하게 제시되지 않고 있는 실정이다.

국내에서도 혈중 수은 농도와 생선섭취나 생활요인과의 관련성,<sup>8,9)</sup> 국민 혈중 중금속 농도 조사,<sup>10)</sup> 초등학생 및 도서지역 주민들의 수은노출실태를 파악하기 위한 연구 등<sup>11)</sup> 혈액을 검체로 이용한 전통적인 연구 뿐 아니라 임산부를 대상으로 한 모발 수은에 관한 연구,<sup>12)</sup> 성별과 염색 유무에 따른 모발 수은에 관한 연구,<sup>13)</sup> 전남지역 대학생들을 대상으로 한 모발 수은 농도에 관한 연구 등<sup>14)</sup> 모발을 검체로 이용한 연구도 다양한 지역과 분야에서 활발하게 이루어 졌다. 그러나 두 종류 이상의 검체를 동시에 조사한 경우는 드물며 상관관계에 대한 연구는 거의 수행되지 않았다.

이에 본 연구는 부산, 울산, 경남 지역 주민들을 대상으로 수은 노출 정도를 보다 정확하게 평가하기 위해 모발과 혈액 검체의 수은 농도를 함께 분석하여 지역 주민의 종합적인 노출 평가 뿐 아니라 두 지표간의 상관성을 분석하여 평가하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 2010년 6월부터 10월까지 조사된 부산, 울산, 경남 지방 지역 주민 1,200명을 대상으로 하였다. 표본 추출 과정에서 지역을 28개 조사구로 구분한 뒤 각 조사구마다 40명의 대상자를 조사하였으며, 조사구 내에서 남녀 성별과 20대, 30대, 40대, 50대, 60대 이상 연령군에 따라 표본 크기를 균등배분하여 지역별 인구학적 특성에 따른 계층별 실태 파악이 가능하도록 설계하였다.

대상자들 마다 혈액과 모발을 채취하여 분석하였으며, 대상자에게 연구의 목적과 과정에 대해 충분한

한 설명을 하였고 동의서를 받았다. 본 연구는 국립 환경 과학원 연구윤리심의위원회(IRB)의 승인을 받았다.

**2. 설문조사**

설문 내용과 설문 방법에 대해 교육을 받은 조사원이 일대일 면접으로 설문조사를 수행하였다. 설문은 성별, 연령, 경제적 수준, 교육 수준 등 일반적 특성과, 흡연과 음주 등 생활습관, 치과용 아말감 등 수은 노출 요인에 대한 항목으로 구성되었다. 그리고 고혈압과 당뇨병, 협심증 등 질환 위주의 과거력을 조사하고 혈액 신장 기능 검사를 실시하여 수은과 관련된 질병의 과거력을 가지거나 신장질환이 있는 대상자는 분석 시 제외하였다.

**3. 혈액 및 모발 시료**

1) 모발 시료 채취 및 보관

모발 시료는 스테인레스 스틸 가위를 사용하여 후두부에서 모근에 최대한 가깝게 채취하였다. 이후 거름종이로 포장하여 폴리에틸렌백(polyethylene bag)에 넣어 분석 전까지 실온 상태의 암실에서 보관하였으며, 모발 채취 시 대상자들의 모발상태(염색, 파마 유무)에 대한 평가를 실시하였다.

2) 혈액 시료 채취 및 보관

혈액 시료는 혈액의 응고 방지를 위해 EDTA로 처리된 3 ml 진공 채혈관(Vacutainer, Beckton & Dickton, Franklin Lakes, NJ, USA)을 사용하여 8시간 이상 공복 상태를 유지한 대상자의 정맥혈에서 채취하였다. 이후 아이스 팩에 보관, 이송하여 분석 전 까지 4°C에서 냉장보관 하였다.

**4. 분석기기 및 검량선 설정**

분석기기는 자동 수은 분석기(Direct Mercury Analyzer, DMA80, Milestone Co, Sorisole, BG, Italy)를 사용하였다. 검량선은 L-cystein 10mg과 질산 2 ml를 이용하여 0.001% L-cysteine 용액을 만든 후, 1000 mg/kg 수은 표준 용액(Waco Co, Minato, Tokyo, Japan)을 희석하여 제조한 후 작성하였다. 검량선은 혈중 수은의 경우, 2~8 ppm 사이의 4개의 표준시료를 제조하였으며, 모발수은의 경우 5~10000 ppm 사이의 14개 표준시료를 제조하였다. 표준시료의 농도는 미지시료의 농도가 포함될 수 있는 범위 내에

설정하였고, 준비된 표준시료를 분석하여 수은의 면적을 구하고 이를 이용하여 검량선을 작성하였다. 검량선의 직선성(r)이 0.998 이하일 때는 재검 처리하였다. 검출한계는 표준시료의 중간값을 이용하여 5회 이상을 반복 측정하여 표준편차에 3.3을 곱하여 계산하였고 검출한계 값은 0.002 1ng로 나타났다.

**5. 분석방법**

모발 시료는 스테인레스 가위를 이용하여 남성의 머리카락은 전체를 포함하고, 여성의 머리카락은 두피에서 가까운 부분과 먼 부분이 모두 포함되게 하여 최대한 잘게 잘라 0.030-0.100 g를 사용하였다. 혈액 시료는 상온에 꺼내어 roll mixer를 이용하여 30분~1시간이상 교반한 후 100 µl를 분리하여 사용하였다. 분석방법은 EPA의 Method 7473<sup>15,16)</sup>을 참고했으며 수은전용분석기 DMA-80(MILESTONE, Italy)을 이용하여 수은을 고온으로 기화시켜 금이 코팅된 수은 포집체에 포집, 농축시켜 원자 흡광도를 측정하는 기열 기화법(Gold Amalgamation)으로 분석하였다. 모발과 혈액 모두 검체 40개마다 표준물질을 이용해 검량선을 확인하였다.

**6. 정도관리**

시험방법의 검증을 위하여 혈액 시료 시 표준물질로 Whole Blood metals control level 1,2(Seronorm) (SERO AS, Billingstad, Norway)를, 모발 검사 시 표준물질로 Mess-3(NRC; National Research Council Canada, Montreal Rd, Ottawa, Canada)를 사용하여 매 검사마다 측정법의 신뢰성을 확보하였다. 아울러 혈액검사는 국제 정도관리인 독일 외부 정도 관리 과정(German External Quality Assessment Scheme, G-EQUAS)에 참여하여 신뢰성을 인정받았다.

**7. 통계분석방법**

통계 분석은 STATA/SE version 11.1(Stata Corp. Colleague station, USA)을 이용하였다. 측정된 모발 수은 농도 및 혈중 수은 농도와 관련된 모든 통계 분석은 대수변환 후 실시하였다. 대상자 특성에 따른 수은 농도 간 차이를 확인하기 위하여 t-검정 및 분산분석을 실시하였다. 모발 수은과 혈중 수은 농도간의 상관분석을 실시하였고, 모발 수은 농도 및 모발 수은과 혈중 수은 농도 비(ratio)에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해 성별, 연령, 흡연 및 음

주, 아말감 치료여부, 농약사용여부, 3개월 이내 염색과 펴머질 여부를 독립변수로 하여 다중회귀분석을 실시하였다. 각 검정에서 유의수준은 5%( $p<0.05$ )를 사용하였다.

### III. 결 과

#### 1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구 대상자의 일반적 특성은 Table 1에 요약되어 있다. 결과 분석에 이용된 연구 대상자는 시료가 오염된 3명을 제외한 1,197명으로 남성 599(50.0%)명, 여성 598(50.0%)명이다. 평균 연령은  $44.5 \pm 14.8$ 세였고, 남성은  $44.2 \pm 15.2$ 세, 여성은  $44.7 \pm 14.3$ 세로 성별에 따른 차이가 없었으며 연령대 별로 20대부터 60대 이상까지 균등하게 분배되었다. 교육 수준은 17년 이상군이 남성 208명(34.7%), 여성 180명(30.1%)으로 가장 많았다. 남성은 흡연군이 223명(37.2%)으로 가장 많았고 여성은 비흡연군이 582명(97.3%)으로 가장 많았다. 음주 여부에서는 음주군이 남성 471명(78.6%), 여성 293명(49.0%)명으로 가장 많았다. 치과 아말감 치료력은 남성 330명(55.1%)과 여성 352명(58.8%)에게서 치료 경험이 있었다. 농약 사용력은 남성 113명(18.9%)과 여성 51명(8.5%)이 농약을 사용한 것으로 나타났다. 남성은 109명(18.2%)이 여성은 232명(38.8%)이 3개월 이내에 염색 또는 파마를 하였다.

#### 2. 일반적 특성에 따른 모발 수은 농도

연구 대상자의 일반적 특성에 따른 모발 수은 농도는 Table 2에 요약되어 있다. 모발 수은 기하평균 농도는  $1.27 \text{ mg/kg}$  [95% CI: 1.23-1.32]였다. 남성은 평균 모발 수은 농도가  $1.56 \text{ mg/kg}$ 로 여성( $1.03 \text{ mg/kg}$ )보다 통계적으로 유의하게 높았다( $p<0.001$ ). 연령에 따른 평균 모발 수은 농도는 남성과 여성 모두 50-59세군이  $2.23 \text{ mg/kg}$ 과  $1.19 \text{ mg/kg}$ 로 가장 높았고 연령 군에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.001$ ). 교육 정도에 따라 남성은 9년 이하 군과 17년 이상 군이  $1.72 \text{ mg/kg}$ 로 가장 높게 나타났고 각 군에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.001$ ). 여성의 경우는 9년 이하 군에서  $1.11 \text{ mg/kg}$ 로 가장 높았으며 각 군에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p=0.015$ ). 흡연 여부 및 음주 여부에서는 남

**Table 1.** General characteristics of subjects

Characteristics	Unit : N (%)		
	total (n=1,197)	male (n=599)	female (n=598)
Age (Mean±SD, years)	44.5±14.8	44.2±15.2	44.7±14.3
20-29	241 (20.1)	126 (21.0)	115 (19.2)
30-39	251 (21.0)	126 (21.0)	125 (20.9)
40-49	231 (19.3)	109 (18.2)	122 (20.4)
50-59	246 (20.6)	124 (20.7)	122 (20.4)
≥60	228 (19.0)	114 (19.0)	114 (19.1)
Education (years)			
≤9	263 (22.0)	110 (18.4)	153 (25.6)
10-12	282 (23.6)	136 (22.7)	146 (24.4)
13-16	264 (22.1)	145 (24.2)	119 (19.9)
≥17	388 (32.4)	208 (34.7)	180 (30.1)
Smoking Status			
Current smoker	232 (19.4)	223 (37.2)	9 (1.5)
Ex-smoker	165 (13.8)	158 (26.4)	7 (1.2)
Non-smoker	800 (66.8)	218 (36.4)	582 (97.3)
Drinking Status			
Current drinker	764 (63.8)	471 (78.6)	293 (49.0)
Ex-drinker	96 (8.0)	45 (7.5)	51 (8.5)
Non-drinker	337 (28.2)	83 (13.9)	254 (42.5)
History of Amalgam Treatment*			
Yes	682 (57.0)	330 (55.1)	352 (59.0)
No	514 (43.0)	269 (44.9)	245 (41.0)
Experience of Using Pesticide*			
Yes	163 (13.6)	113 (18.9)	50 (8.4)
No	1,033 (86.4)	485 (81.1)	548 (91.6)
Hair dying or perm within 3months			
Yes	341 (28.5)	109 (18.2)	232 (38.8)
No	856 (71.5)	490 (81.8)	366 (61.2)

SD: Standard deviation

\*: include non-response

성과 여성 모두 금연군, 음주군의 농도가 가장 높았으며, 남성 대상자에서만 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(흡연:  $p=0.038$ , 음주:  $p=0.035$ ). 치과 아말감 치료력에서는 남녀 모두 아말감 치료를 한 적이 있는 군의 농도가 높았으며 여성에서만 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p=0.014$ ). 농약 사용력에서는 남녀 모두 농약을 사용한 군의 농도가 높았고 남성에서만 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.001$ ).

**Table 2.** The hair mercury concentration according to general characteristics

Characteristics	Unit : mg/kg						p-value*
	total		male		female		
	GM	95% CI	GM	95% CI	GM	95% CI	
	1.27	(1.23-1.32)	1.56	(1.48-1.64)	1.03	(0.99-1.08)	<0.001
<b>Age</b>							
20-29	0.88	(0.83-0.94)	0.92	(0.84-1.01)	0.85	(0.77-0.93)	0.183
30-39	1.31	(1.22-1.40)	1.63	(1.48-1.80)	1.04	(0.96-1.13)	<0.001
40-49	1.33	(1.23-1.44)	1.78	(1.59-1.99)	1.02	(0.94-1.12)	<0.001
50-59	1.63	(1.50-1.77)	2.23	(2.04-2.43)	1.19	(1.05-1.34)	<0.001
≥60	1.31	(1.21-1.43)	1.59	(1.41-1.80)	1.08	(0.97-1.21)	<0.001
p-value†	<0.001		<0.001		<0.001		
<b>Education</b>							
≤9	1.32	(1.22-1.43)	1.67	(1.47-1.90)	1.11	(1.01-1.22)	<0.001
10-13	1.35	(1.25-1.45)	1.72	(1.56-1.90)	1.07	(0.97-1.18)	<0.001
12-16	1.04	(0.96-1.12)	1.17	(1.05-1.30)	0.89	(0.81-0.98)	<0.001
≥17	1.36	(1.28-1.44)	1.72	(1.59-1.87)	1.04	(0.97-1.11)	<0.001
p-value†	<0.001		<0.001		0.015		
<b>Smoking Status</b>							
Current smoker	1.48	(1.37-1.60)	1.50	(1.38-1.63)	1.07	(0.72-1.60)	0.126
Ex-smoker	1.77	(1.61-1.94)	1.80	(1.64-1.98)	1.13	(0.58-2.18)	0.123
Non-smoker	1.13	(1.09-1.18)	1.46	(1.34-1.60)	1.03	(0.99-1.08)	<0.001
p-value†	<0.001		0.038		0.811		
<b>Drinking Status</b>							
Current Drinker	1.37	(1.31-1.43)	1.62	(1.53-1.72)	1.04	(0.98-1.10)	<0.001
Ex-drinker	1.07	(0.95-1.20)	1.27	(1.05-1.52)	0.92	(0.80-1.06)	0.002
Non-drinker	1.13	(1.06-1.21)	1.40	(1.21-1.62)	1.05	(0.98-1.13)	<0.001
p-value†	<0.001		0.035		0.197		
<b>History of Amalgam treatment</b>							
Yes	1.29	(1.23-1.36)	1.56	(1.45-1.68)	1.09	(1.03-1.15)	<0.001
No	1.24	(1.17-1.31)	1.56	(1.45-1.68)	0.96	(0.90-1.03)	<0.001
p-value†	0.285		0.694		0.014		
<b>Experience of Using Pesticide</b>							
Yes	1.62	(1.48-1.78)	1.85	(1.66-2.07)	1.20	(1.04-1.38)	<0.001
No	1.22	(1.18-1.27)	1.50	(1.42-1.59)	1.02	(0.97-1.07)	<0.001
p-value†	<0.001		0.006		0.070		
<b>Hair dying or perm within 3months</b>							
Yes	1.23	(1.15-1.31)	1.74	(1.56-1.94)	1.04	(0.91-1.13)	<0.001
No	1.29	(1.23-1.34)	1.52	(1.44-1.61)	1.03	(0.97-1.08)	<0.001
p-value†	0.239		0.189		0.453		

GM: Geometric Mean, 95% CI: 95% Confidence Interval.

\*: p-value was calculated by independent sample t-test between male and female group.

†: p-value indicates the difference of hair mercury concentration between subgroups using ANOVA or independent sample t-test

**Table 3.** The blood mercury concentration according to general characteristics

Characteristics	Unit : $\mu\text{g/L}$						p-value*
	total		male		female		
	GM	95% CI	GM	95% CI	GM	95% CI	
	5.24	(5.07-5.41)	6.00	(5.73-6.29)	4.56	(4.38-4.75)	<0.001
<b>Age</b>							
20-29	3.83	(3.61-4.06)	3.90	(3.58-4.26)	3.75	(3.46-4.06)	0.262
30-39	5.27	(4.93-5.63)	6.19	(5.61-6.82)	4.48	(4.14-4.85)	<0.001
40-49	5.40	(5.03-5.79)	6.63	(6.01-7.30)	4.49	(4.11-4.91)	<0.001
50-59	6.58	(6.11-7.07)	8.30	(7.64-9.02)	5.19	(4.67-5.77)	<0.001
$\geq 60$	5.48	(5.09-5.90)	5.98	(5.33-6.71)	5.03	(4.59-5.51)	0.002
p-value†	<0.001		<0.001		<0.001		
<b>Education</b>							
$\leq 9$	5.50	(5.11-5.92)	6.42	(5.66-7.27)	5.61	(5.16-5.37)	<0.001
10-13	5.44	(5.10-5.81)	6.35	(5.78-6.97)	4.71	(4.33-5.13)	<0.001
12-16	4.30	(4.02-4.60)	4.65	(4.22-5.13)	3.91	(3.57-4.28)	<0.001
$\geq 17$	5.63	(5.35-5.92)	6.67	(6.23-7.15)	4.62	(4.33-4.93)	<0.001
p-value†	<0.001		<0.001		0.002		
<b>Smoking Status</b>							
Current smoker	5.77	(5.37-6.21)	5.82	(5.39-6.27)	4.78	(3.40-6.73)	0.122
Ex-smoker	6.87	(6.29-7.51)	6.96	(6.35-7.62)	5.21	(3.47-7.82)	0.116
Non-smoker	4.81	(4.64-4.99)	5.57	(5.15-6.03)	4.55	(4.37-4.75)	<0.001
p-value†	<0.001		0.002		0.890		
<b>Drinking Status</b>							
Current Drinker	5.58	(5.35-5.81)	6.26	(5.94-6.60)	4.63	(4.36-4.91)	<0.001
Ex-drinker	4.51	(4.07-5.00)	5.19	(4.41-6.11)	3.99	(3.51-4.52)	0.003
Non-drinker	4.73	(4.47-5.01)	5.11	(4.48-5.82)	4.62	(4.33-4.91)	0.014
p-value†	<0.001		0.013		0.104		
<b>History of Amalgam treatment</b>							
Yes	5.29	(5.07-5.51)	5.97	(5.60-6.36)	4.72	(4.48-4.97)	<0.001
No	5.16	(4.92-5.43)	6.05	(5.64-6.48)	4.34	(4.60-5.28)	<0.001
p-value†	0.531		0.879		0.123		
<b>Experience of Using Pesticide</b>							
Yes	6.05	(5.60-6.55)	6.61	(5.99-7.30)	4.96	(4.43-5.55)	<0.001
No	5.12	(4.94-5.20)	5.87	(5.57-6.19)	4.53	(4.34-4.73)	<0.001
p-value†	0.009		0.260		0.087		
<b>Hair dying or perm within 3months</b>							
Yes	5.29	(5.00-5.60)	6.51	(5.87-7.21)	4.80	(4.50-5.13)	<0.001
No	5.21	(5.02-5.42)	5.90	(5.59-6.21)	4.42	(4.20-4.65)	<0.001
p-value†	0.831		0.335		0.046 <sup>oo</sup>		

GM: Geometric Mean, 95% CI: 95% Confidence Interval.

\*: p-value was calculated by independent sample t-test between male and female group.

†: p-value indicates the difference of hair mercury concentration between subgroups using ANOVA or independent sample t-test

**Table 4.** Distribution of ratio with hair/blood mercury concentration

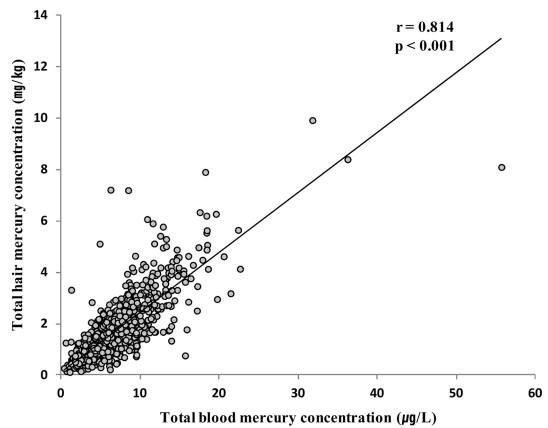
Group	Means	95% CI	Percentile				
			5%	25%	50%	75%	95%
Total	261.32	(253.99-268.66)	128.42	196.88	246.79	306.14	419.88
Male	277.33	(265.39-289.28)	152.88	218.89	259.15	313.52	410.59
Female	245.29	(236.94-253.64)	112.25	179.85	230.81	294.81	426.14

95% CI: 95% Confidence Interval.

3개월 내 염색이나 파마 유무에 따라서는 3개월 내 파마나 염색을 하지 않은 군의 농도가 더 높았으며 남녀 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

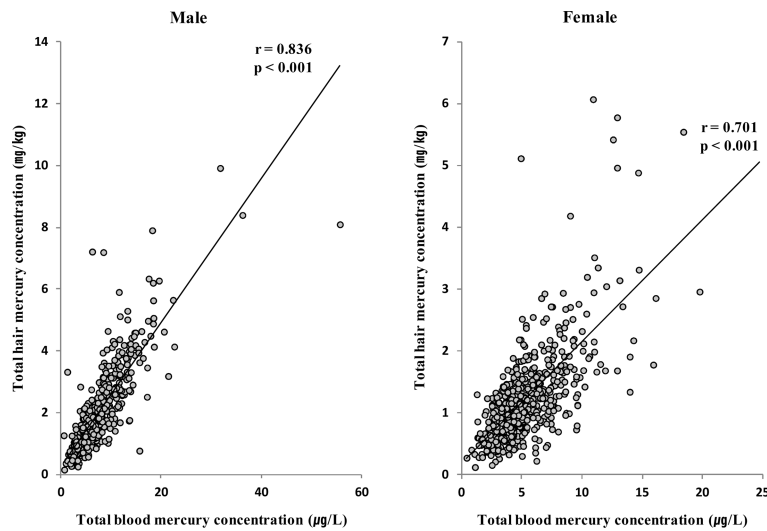
**3. 일반적 특성에 따른 혈중 수은 농도**

연구 대상자의 일반적 특성에 따른 혈중 수은 농도는 Table 3에 요약되어 있다. 혈중 수은 기하평균 농도는 5.24 µg/L [95% CI: 5.07-5.41] 였다. 남성은 평균 혈중 수은 농도가 6.00 µg/L로 여성(4.56 µg/L)보다 통계적으로 유의하게 높았다 (p<0.001). 연령에 따른 평균 혈중 수은 농도는 남성과 여성 모두 50-59세 군이 8.30 µg/L과 5.19 µg/L로 가장 높았으며, 남성과 여성 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.001). 교육 정도에 따라 남성은 17년 이상 군이 6.67 µg/L, 여성은 9년 이하 군이 5.61 µg/L으로 가장 높게 나타났으며, 각 군에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다(남: p<0.001, 여: p=0.002). 흡연 여부와 음주 여부에서



**Fig. 1.** Correlation between hair mercury concentration and blood mercury concentration (Total).

는 모발과 마찬가지로 남녀 모두 금연군의 농도가 가장 높았고 음주 여부에서도 음주군의 농도가 가장 높았다. 그리고 모두 남성에서만 통계적으로 유의한 차이를 보였다(흡연: p=0.002, 음주: p=0.013).



**Fig. 2.** Correlation between hair mercury concentration and blood mercury concentration (male and female).

**Table 5.** Multiple regression analysis about related factor with the hair total mercury concentration

Variable	$\beta$	$10^\beta$	95% CI	t	p-value
Constant	-0.193	0.642	0.58-0.71	8.13	<0.001
<b>Gender</b>					
Male	0.157	1.436	1.32-1.57	8.17	<0.001
Female	0	1			
<b>Age</b>					
≥60	0.195	1.565	1.40-1.75	7.69	<0.001
50-59	0.277	1.892	1.70-2.11	11.70	<0.001
40-49	0.191	1.551	1.40-1.72	8.31	<0.001
30-39	0.171	1.483	1.34-1.64	7.75	<0.001
20-29	0	1			
<b>Smoking Status</b>					
Current smoker	-0.019	0.958	0.87-1.06	0.83	0.409
Ex-smoker	0.028	1.067	0.95-1.20	1.11	0.267
Non-smoker	0	1			
<b>Drinking Status</b>					
Current drinker	0.063	1.155	1.07-1.25	3.51	<0.001
Ex-drinker	-0.037	0.919	0.81-1.05	1.26	0.206
Non-drinker	0	1			
<b>History of Amalgam treatment</b>					
Yes	0.025	1.060	0.99-1.13	1.78	0.076
No	0	1			
<b>Experience of Using Pesticide</b>					
Yes	0.035	1.083	0.98-1.19	1.61	0.108
No	0	1			
<b>Hair dying or perm within 3months</b>					
Yes	-0.019	0.957	0.89-1.04	1.09	0.275
No	0	1			
R <sup>2</sup>			0.420		

$\beta$ : logarithm converted the estimated regression coefficient  
95% CI: 95% Confidence Interval.

치과 아말감 치료력에서는 남녀 모두 치료를 한 적이 있는 군의 농도가 높았고 농약 사용 여부에서는 농약을 사용한 적이 있는 군의 농도가 높았으나 남성과 여성 모두 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다. 3개월 내 염색이나 파마 여부에서는 남녀 모두 염색이나 파마를 한 적이 있는 군의 농도가 높았으며 여성의 경우만 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p=0.046$ ).

#### 4. 모발 수은 농도와 혈중 수은 농도의 관계

모발 수은 농도와 혈중 수은 농도의 비는 Table 4에 나타나있다. 모발 수은 평균 농도는 혈중 수은 평균 농도의 약 261.3배였으며 남성이 277.3배, 여성이 245.3배로 남성이 여성보다 높았다. 모발 수은 농도와 혈중 수은 농도의 상관 분석은 Fig. 1과 Fig. 2에 나타나있다. 전체 대상자의 상관계수는 0.814이었으며( $p<0.001$ ) 남성의 상관계수가 0.836, 여성의 상관계수가 0.701으로 남성에서 더 높게 나타났고, 두 군 모두 통계적으로 유의한 결과를 보였다( $p<0.001$ ).

#### 5. 모발 수은 농도의 영향 요인

모발 수은 농도에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위하여 다중회귀분석을 실시한 결과는 Table 5와 같다. 이 때, 종속변수인 모발 수은 농도는 왼쪽으로 치우친 분포를 보여(skewness=2.301) 대수변환하였으며, 조사된 대상자 특성 중 연령과 교육정도는 높은 상관성이 확인되어( $r=-0.615$ ,  $p<0.001$ ) 교육정도를 제외한 나머지 특성을 독립변수로 하였다. 모형에 투입된 다른 독립변수들을 고정하였을 때, 모발 수은 농도는 남성이 여성에 비해 1.436배 높았고( $p<0.001$ ), 연령에 따라서는 20대군에 비해 30대 1.483배, 40대군이 1.551배, 50대군이 1.892배, 60대군이 1.565배 높은 것으로 나타났으며( $p<0.001$ ) 20대에서 50대까지 순차적으로 증가하는 경향성이 확인되었다. 음주여부에 있어서는 음주군이 비음주군보다 1.155배 높은 것으로 나타났다( $p<0.001$ ). 통계적으로 경계수준의 유의성을 가지는 요인으로서, 아말감 치료 경험이 있는 군이 경험이 없는 군에 비해 1.060배( $p=0.076$ ), 농약을 사용한 경험이 있는 군이 사용한 경험이 없는 군보다 1.083배 높은 것으로 나타났다( $p=0.108$ ).

#### 6. 모발 수은과 혈중 수은 농도 비의 영향 요인

모발 수은과 혈중 수은 농도 비에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위하여 다중회귀분석을 실시한 결과는 Table 6와 같다. 이 때, 종속변수인 수은 농도 비는 왼쪽으로 치우친 분포를 보여(skewness=7.973) 대수변환하였다. 모형에 투입된 다른 독립변수들을 고정하였을 때, 여성에 비해 남성의 혈중 수은에 대한 모발 수은 농도 비가 1.159배 더 높았으며



**Table 6.** Multiple regression analysis about related factor with the ratio with hair/blood mercury concentration

Variable	$\beta$	10 <sup><math>\beta</math></sup>	95% CI	t	p-value
Constant	2.337	217.315	202.32-233.42	147.66	<0.001
<b>Gender</b>					
Male	0.064	1.159	1.09-1.23	4.98	<0.001
Female	0	1			
<b>Age</b>					
≥60	0.013	1.030	0.95-1.11	0.76	0.450
50-59	0.029	1.070	1.00-1.15	1.85	0.064
40-49	0.030	1.071	1.00-1.15	1.95	0.051
30-39	0.030	1.071	1.00-1.14	2.01	0.045
20-29	0	1			
<b>Smoking Status</b>					
Current smoker	-0.012	0.973	0.91-1.04	0.80	0.425
Ex-smoker	-0.012	0.973	0.90-1.05	0.70	0.484
Non-smoker	0	1			
<b>Drinking Status</b>					
Current drinker	-0.009	0.978	0.93-1.03	0.80	0.426
Ex-drinker	-0.015	0.967	0.89-1.06	0.75	0.455
Non-drinker	0	1			
<b>History of Amalgam treatment</b>					
Yes	0.010	1.023	0.98-1.07	1.06	0.290
No	0	1			
<b>Experience of Using Pesticide</b>					
Yes	0.038	1.090	1.02-1.16	2.60	0.009
No	0	1			
<b>Hair dying or perm within 3months</b>					
Yes	-0.016	0.964	0.92-1.02	1.38	0.169
No	0	1			
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0.049</b>		

$\beta$ : logarithm converted the estimated regression coefficient  
95% CI: 95% Confidence Interval.

( $p < 0.001$ ), 연령에 있어서 20대에 비해 30대, 40대, 50대가 더 높은 것으로 나타났으나 특징적인 경향성은 발견되지 않았고 경계수준의 유의성이 확인되었다. 농약사용여부에 따라서도 사용경험이 있는 경우 혈액에 대한 모발 수은 농도 비가 1.090배 더 높았다( $p = 0.009$ ).

#### IV. 고 찰

본 연구는 부산, 울산, 경남 지역주민의 정확한 수은 노출 상태의 평가와 수은 노출 지표간의 상관성을 파악하고자 28개 지역 20세 이상의 성인 1,197명에 대한 모발 수은과 혈중 수은의 농도를 분석하였다.

분석 결과 모발 수은 기하평균 농도는 전체 1.27 mg/kg였으며 혈중 수은 기하평균 농도는 전체 5.24  $\mu\text{g/L}$ 로서, 국내 연구 중 대구광역시 주민 229명을 대상으로 한 연구의 모발 수은 평균 농도 0.95 mg/kg,<sup>13)</sup> 서울특별시 일부 임산부 50명을 대상으로 한 연구의 0.65 mg/kg<sup>12)</sup>보다 비교적 높은 수준으로 나타났다. 이러한 연구 간의 차이는 수은의 인구학적 특성 및 음주, 흡연 등 생활 습관과 연관된 것으로 볼 수 있으며 특히, 체내 수은 축적의 주요 원인인 어패류 섭취량과 빈도의 지역적 차이에 따른 것으로 추측된다.

성별에 따른 모발 수은 농도는 서울특별시에 거주하는 치과 종사자들을 대상으로 한 연구<sup>17)</sup>와 일본인, 미국인들을 대상으로 한 연구,<sup>18)</sup> 미얀마와 파키스탄으로 이민 한 일본인들을 대상으로 한 연구<sup>19)</sup>에서 남성의 모발 수은 농도가 여성보다 높게 보고되어 본 연구의 결과와 일치하였다. 방사선 표지자를 이용한 연구에서 남성의 메틸수은(79일), 무기수은(48일) 반감기가 여성(메틸수은 71일, 무기수은 37일)보다 길어,<sup>18)</sup> 식이와 생활 습관 뿐만 아니라 성별에 따른 수은 반감기의 차이에도 영향을 받는 것으로 고려된다.

연령에 따라서는 남성과 여성 모두 20대군부터 50대군까지 증가하는 모습을 보였고 60대 이상 군에서는 감소하는 모습을 보였다. 이는 40대 까지 모발 수은 농도가 증가하는 은종극<sup>21)</sup> 등의 연구, 말레이시아 어민들을 대상으로 한 연구의 결과와 비슷한 양상이었다<sup>22)</sup>.

국외의 모발 수은 농도에 관한 연구와 비교하였을 때 일본의 다섯 개 지역에서 실시된 연구<sup>23)</sup>에서 보고된 수준은 1.96 mg/kg로 본 연구 결과보다 높았고, 스웨덴의 어촌지역에서 실시된 연구에서는 평균농도가 0.90 mg/kg로 나타나 본 연구 결과보다 낮았다.<sup>24)</sup> 이러한 결과는 한국, 소련, 일본, 미국인의 모발 중금속 농도를 비교한 연구,<sup>25)</sup> 중국, 인도네시아, 일본에 거주하는 사람들을 대상으로 모발 수은 농도를 분석한 연구,<sup>26)</sup> 35개 나라 사람들의 수은 농도를 분석한

연구<sup>27)</sup>에서 일본인의 모발 수은 농도가 가장 높게 나타난 것과 일치하였다.

또한, 파마 또는 염색에 따른 모발 수은 농도의 경우 본 연구에서는 3개월 내 파마나 염색을 한 대상자들의 모발 수은 농도가 더 낮았으며 이는 일본 다섯 개 지역에서 조사된 모발 수은 농도에 관한 연구에서는 파마와 염색을 한 모발이 수은 농도가 낮아진다고 보고와 일치한다.<sup>23)</sup> 그러나 서울특별시 임신부를 대상으로 한 연구에서는 파마로 인한 수은 농도의 변화가 없다고 보고되었으며,<sup>12)</sup> 대구광역시 주민 229명을 대상으로 한 연구에서는 염색을 한 대상자 군이 하지 않은 대상자군보다 높게 나타났다.<sup>13)</sup> 그리고 Miwaco<sup>28)</sup> 등의 연구에서는 파마를 하였을 때 수은이 결합되어 있는 케라틴 단백질의 산성기를 제거해 모발 총 수은 농도를 낮게 하지만, 염색은 총 수은 농도에 큰 영향을 미치지 않는다고 보고되고 있어 정확한 영향 여부 및 정도를 위해서는 파마와 염색을 따로 분리하여 분석할 필요가 있다.

혈중 수은 농도의 경우 2005년 환경부에서 전국 20세 이상 성인 남, 여 2000명을 대상으로 실시한 국민 혈중 중금속 농도 조사에서 평균이 4.34 µg/L였으며,<sup>10)</sup> 2006년 서울특별시에 주거하는 성인남녀 235명을 대상으로 한 연구에서는 3.19 µg/L인 것에 비해 본 연구의 수은 농도는 높은 수준으로 확인되었다.<sup>8)</sup> 이러한 결과는 모발과 마찬가지로 인구학적 특성 및 생활습관, 그리고 가장 주요한 요인으로 어패류 섭취량과 빈도에 지역적 차이에 따른 것으로 추측된다. 일본의 임신부를 대상으로 한 연구<sup>29)</sup>에서는 혈중 수은 평균 농도가 9.81 µg/L로 본 연구 결과보다 높았으며, 미국인을 대상으로 한 연구<sup>30,31)</sup>에서는 1.02 µg/L, 0.82 µg/L로 보고되고 있어 본 연구 결과보다 낮았다.

성별에 따른 혈중 수은평균 농도는 남성이 여성보다 높았으며, 이는 일부 해안가 지역 주민들을 대상으로 한 연구<sup>9)</sup>와 서울특별시 성인 남녀 235명을 대상으로 한 연구결과<sup>8)</sup>와 일치한다.

국제적인 권고 기준치와의 비교에서 모발 수은 평균 농도는 세계보건기구(WHO)에서 제시하고 있는 1 mg/kg 보다 높았으며, 혈중 수은 평균 농도의 경우 세계보건기구(WHO) 및 독일 인체 모니터링 위원회(CHBM)에서 제시하고 있는 일반인 중 건강 피해 위험성이 없는 HBM I 기준인 5 µg/L보다 높았

다. 특히 남성의 경우 미국 환경 보호청(Environmental Protection Agency, EPA)에서 정하고 있는 일반인에서 일생 동안 유해 건강이 나타나지 않는 수준인 5.8 µg/L보다 더 높은 것으로 확인되었다.

종합적으로 국내 현황은 해안지역의 수은 농도가 내륙지역에 비해 더 높은 것으로 파악되며 기준치 이상의 평균 정도를 보인다. 국외와의 비교에서도 모발 수은 농도의 경우 일본을 제외한 다른 나라보다 다소 높은 수준으로 확인되었으며 혈중 수은 농도는 크게 높은 수준으로 국제적인 기준에 근접한 대상자나 초과되는 대상자가 많은 것으로 나타나, 이에 대한 요인 평가와 관리가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서의 모발 평균 수은 농도와 혈중 평균 수은 농도의 상관계수는 0.814로, 스웨덴 임신부들의 모발과 제대혈 간의 수은 농도의 상관성을 분석한 연구<sup>32)</sup>의 상관정도(0.53)보다 높았으며, Phelps 등의 연구<sup>33)</sup>에서 보고된 상관정도(0.935)에 비해서는 낮았다.

모발 수은 농도와 혈중 수은 농도의 비는 278.5배로 미국 식약청에서 명시하고 있는 250배,<sup>34)</sup> WHO에서 명시하고 있는 250-300배<sup>7)</sup>와 비슷한 수준으로 나타났다. 페로우 섬에서의 7~14세 어린이 1,000명을 대상으로 한 연구<sup>35)</sup>에서는 어머니의 모발 수은 농도가 제대혈 중 수은 농도보다 200배 높았지만 14세 어린이들의 혈중 수은 농도보다는 약 250배로 증가하였다. Kershaw 등의 연구<sup>36)</sup>에서는 모발과 혈액 수은 농도의 비가 292배, Tejing 등의 연구<sup>37)</sup>에서는 300배로 보고되어 본 연구와 비슷한 수치를 보였다.

또한 부검체의 두발과 장기의 중금속 농도 관련성에 관한 연구에서는 모발 수은이 2차 축적 장기인 소뇌, 대뇌, 심장, 비장 등의 수은 농도와 유의한 상관관계가 있는 나타났다.<sup>38)</sup> 이는 모발이 장기에 직접적으로 축적된 수은의 노출 정도를 잘 반영하고 있어 체내 수은 농도를 측정하는 지표로 충분히 사용될 수 있다는 것을 말해주고 있다.

과거에 수행된 많은 연구에서는 체내의 중금속 농도를 분석하는 방법으로써 실험 방법과 결과가 검증된 혈액과 소변 시료가 주로 사용되어 왔다. 모발은 검체 채취 시 많은 대상자들이 꺼려하며 실험 과정에도 더 많은 시간을 소모하는 검체이기 때문에 혈액에 비해 덜 사용되어 왔고 확실한 기준치도 정해져 있지 않았다. 하지만 1978년 모발검사가 혈액과 소변 검사를 대체할 수 있는 방법으로 이용될 수 있음이 발표

되었고, 1980년 미국 환경 보호청에서 모발이 수은 뿐 아니라 인체의 많은 중금속 오염 측정에 유용함을 보고 한 후 점차 이용이 증가되고 있다. 그리고 세계 원자력 기구(IAEA)에서 모발을 생체시료 중 가장 중요한 모니터링 자료로 권장하는 등 모발을 이용한 연구의 중요성이 강조하고 있다.<sup>39)</sup> 이에 국외에서는 이미 많은 연구가 진행되었으며 국내에서도 수은 뿐 아니라 납, 카드뮴, 망간, 아연 등 다양한 중금속 검사의 검체로 모발을 사용하는 연구가 늘어가는 추세이다.<sup>40)</sup>

수은은 다른 중금속들보다 반감기가 길어 체내에 축적되기 쉬운 만큼 혈액이나 소변을 통한 단기간 노출 정도를 조사하는 것 외에 모발을 이용한 장기간 축적 정도의 분석 역시 매우 중요하다. 국외에서는 모발 수은을 분석과 동시에 혈중 수은 농도를 함께 분석하여 전체적인 수은 노출 정도와 상관성을 알아보는 연구가 다수 수행되었지만 아직 국내에서는 이에 대한 연구가 미흡한 실정으로 본 연구에서는 모발과 혈중 수은 농도를 함께 분석하여 각각의 노출 수준과 농도간의 상관성도 함께 분석하였다.

수은의 노출 수준을 파악하는데 있어 주요한 요인인 어패류 섭취량과 빈도에 대한 조사가 이루어지지 못한 점과 모발 수은 농도에 있어 파마나 염색에 따른 층화분석의 부재는 향후 추가적인 연구의 필요성으로 지적될 수 있다. 또한 일부 해안 지역에 대한 연구 결과로 우리나라 전체의 지표가 되지 못한다는 것 역시 한계점이 될 수 있다.

이러한 단점에도 불구하고 본 연구는 기존 국내 연구와 비교해 볼 때, 인구학적 특성을 고려한 비교적 많은 수의 대상자들을 분석하였다는 점, 그리고 특히 모발과 혈중 수은 농도를 함께 분석하여 그 상관성을 검토하고 제시하였다는 점에서 차별성이 부각될 수 있다.

결과적으로 기존의 많은 연구들에서 이용된 혈액과의 비교와 상관성 연구를 통해 모발의 수은노출의 지표로서의 유용성을 확인할 수 있었으며 본 연구결과를 바탕으로 향후 모발이 수은 노출 평가에서 혈액과 소변 등 다른 검체들과 함께 노출지표로서 의미 있게 사용되기를 기대한다.

## V. 결 론

부산, 울산, 경남 지역주민의 정확한 수은 노출 상

태의 평가와 수은 노출 지표간의 상관성을 파악하고자 모발 수은과 혈중 수은의 농도를 분석한 결과, 평균치가 국제적인 권고 기준보다 비교적 높은 수준으로 기준치 이상의 대상자들에 대한 지속적인 관리와 개선이 필요할 것으로 보인다. 그리고 본 연구에서의 모발 수은농도와 혈중 수은농도의 높은 상관성을 볼 때 혈중 수은 농도와 함께 모발 수은농도가 체내 수은 농도를 측정하는 지표로 유용하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 두 지표 간 상관성의 정도를 계량화하고 수용 가능한 수준에서의 일반화가 가능하다면 모발수은의 측정이 수은 노출평가에서 혈중 및 요중 수은과 함께 수은노출지표로서 의미 있게 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 감사의 글

이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 참고문헌

1. Park WS. A Study on the heavy metal contents in human hairs. [Chang won] : Kyungnam University 1997.
2. Putman JJ. Quicksilver and slow death. *Natl Geogr Mag.* 1972; 142(4): 506-27.
3. Bakir F, Damluji SF, Azak L, Murtdha M, Khalidi A, Tikrita S, et al. Methyl mercury poisoning in Iraq. An inter-university report. *Science* 1973; 181: 230-241.
4. Mortada WI, Sobh MA, Defrawy MM, Farahat SE. Reference intervals of cadmium, lead, and mercury in blood, urine, hair, and nails among residents in Mansoura City, Nile Delta, Egypt, *Environ Res.* 2002; 90(2): 104-10.
5. Gompertz D. Biological monitoring of workers exposed to mercury vapour. *J Soc Occup Med.* 1982; 32(3): 141-5.
6. Kim JH. A study on concentrations of heavy metals in scalp hair of residents in some area. [Seoul] : Korue University 2011.
7. WHO. Environmental Health Criteria 1 : Mercury. WHO. *Geneva* 1976; 94-131.
8. Ho MK, Lim YW, Lim JH, Yang JY Shin DC. Association between blood mercury concentration and factor of health/life. *J Environ Toxicol* 2006;

- 21(3): 229-38.
9. Jo EM, Kim BG, Kim YM, Yu SD, You CH, Kim JY, Hong YS. The blood mercury concentration and related factors in a urban coast area, Korea. *J Prev Med Public Health* 2010; 43(5): 377-86.
  10. Ministry of Environment. Survey of Blood Heavy Metal Concentration in Koreans, Seoul: Ministry of Environment; 2005
  11. Kim GB, Kim DS, Lee JH, Park HJ, Wee SS. Survey on the total mercury exposure of school children in Korea. *Kor J Environ Hlth* 2007; 33(5): 386-391.
  12. Kim YS, Lee EJ, Bae SH, Ryutaro O, Tsuguyoshi S. Mercury concentration in pregnant women's hair in the Seoul area. *Kor J Env Hlth Soc* 1992; 18(1): 105-11.
  13. Song MR, Cho TJ, Jeon HL, KimJO, Son BS. A Study on Mercury Concentration in the Hair of University Student in Jwon-nam Area. *J Env Hlth Sci* 2009; 35(4): 287-294.
  14. Kim HJ, Yang SY, Lee IH. A Study on the Contents of Heavy Metals in Hairs by Sex and Coloring. *J Korean Soc Hygienic Siences* 2002; 8(2):67-74.
  15. US EPA. Method 7473: Mercury in solids and solutions by thermal decomposition amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry. US EPA; 2007.
  16. Korean Occupational Health Management Association, Standard of biological exposure indices and analytical methods III: 10 heavy-metal (etc. lead). KOSHA; 2010
  17. Taik SL, Dong HS. A study of the content of total mercury in the head hair of dental personnel. *Yakhak Hoe Chi* 1979; 23: 17-29.
  18. Yamaguchi S, Matsumoto H, Kahn S, Hoshide M. Relationship between mercury content of hair and amount of fish consume. *HSMHA Health Reports* 1971; 86: 904-909.
  19. Suzuki T, Matsubara-Khan J, Matsuda A. Mercury content of hair of Japanese after emigration to Burma and East Pakistan. *Bull Environ Contam Toxicol* 1972; 7: 26-32.
  20. Miettinen JK, Rahola T, Hattula T, Rissanen K, Tillander M. Elimination of 203 Hg methyl mercury in man. *Ann Clin Res* 1971; 3: 116-122.
  21. Eun JK, Lee WS. Mercury Contents of Human Scalp Hair by the Consumption Pattern in Fish. *Korean J. Sanitation* 2000; 15(3): 8-14
  22. Sivalingam PM, Binti Sani A. Mercury content in hair from fishing communities of the state of Penang, Malaysia. *Marine Pliut Bul* 1980; 11: 188-191.
  23. Akira Y, Miyuki M, Masako Y, Noriyuki H. Current Hair Mercury Levels in Japanese: Survey in Five Districts. *Tohoku J Exp Med* 2003; 199: 161-69.
  24. Johnsson C, Sllsten G, Schtz A, Sjrs A, Barregrd L. Hair mercury levels versus freshwater fish consumption in household members of Swedish angling societies. *Environ Res.* 2004; 96(3):257-63.
  25. Kwon YT. A study on the heavy metal content in scalp hair of Korean, Russian, Japanese and American. *Inst Environ Res Kyungnam Univ* 1990; 12; 65-77.
  26. Gonzalez MJ, Rico MC, Hernandez LM, Baluja G. Hair mercury levels of residents in China, Indone-siam and Japan. *Arch Environ Health* 1998; 53(1): 36-43.
  27. Airey D. National fish consumption and the accumulation of mercury in human hair. *J Environ Sci Health* submitted.
  28. Miwaco D, Kuniyoko N, Mineshi S, Toyoto I, Keita S, Xiao-Jie L, et al. Effects of hair treatment on hair mercury-The best biomarker of methylmercury exposure?. *Environ Health rev Med* 2005; 10(4): 208-212.
  29. Sakamoto M, Kaneoka T, Murata K, Nakai K, Satoh H, Akagi H. Correlations between mercury concentrations in umbilical cord tissue and other biomarkers of fetal exposure to methylmercury in the Japanese population. *Environ Res* 2007; 103(1): 106-111.
  30. Vupputuri S, Longnecker MP, Daniels JL, Guo X, Dale P. Blood mercury level and pressure among US women: results from the National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2000. *Environ Res* 2005; 97(2): 195-200.
  31. Schober SE, Sinks TH, Jones RL, Bolger PM, McDowell M, Osterloh J, et al. Blood Mercury Levels in US Children and Women of Childbearing Age, 1999-2000. *JAMA* 2003; 289(13): 1667-1674.
  32. Bjornberg KA, Vahter M, Petersson-Grawe K, Glynn A, Cnattingius S, Darnerud PO, et al. Methyl Mercury and Inorganic Mercury in Swedish Pregnant Women and in Cord Blood: Influence of Fish Consumption. *Environ Health Perspect* 2003; 111(4): 637-641.
  33. Phelps RW, Clarkson TW, Kershaw TG, Wheatley B. Interrelationships of blood and hair mercury concentrations in a North American population exposed to methylmercury. *Arch Environ Health.* 1980; 35(3): 161-8.
  34. US EPA. Water Quality Criterion for the Protection of Human Health: Methylmercury. US EPA; 2001.

35. Budtz-Jørgensen E, Grandjean P, Jørgensen PJ, Weihe P, Keiding N. Association between mercury concentrations in blood and hair in methylmercury-exposed subjects at different ages. *Environ Res.* 2004 1; 95(3): 385-93.
36. Kershaw TG, Dhahir PH, Clarkson TW. The relationship between blood levels and does of methyl mercury in men. *Arch Environ Health* 1980; 35: 28-35.
37. Tejning S. Mercury content of blood corpuscles, blood plasma and hair in heavy fish-eaters from different areas of Lake Venem and relation between content of fish and a suggestion regarding the international food and health value and its use for fish and fish products. *Occuoational Medicine Clinic University Hospital Lund Rapport* 1967; 67: 8-31.
38. Lee WK, Song ME, Song JG, Lee SK Park SH. A Note on Relationship between Strengths of Heavy Metals Contamination in Scalp Hair and Organs from Autopsy Subjects. *J Koreans Data & Iformation Science Society* 1999; 10(1): 215-22.
39. Jakie Mortonm Vikki A, Philip HE, Gardiner. Removal of exogenously bound elements from human hair by various washing procedures and determination by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 2002; 455: 23-34.
40. Koh HS, Shim UT, Cho YC. Concentration distribution of metals in hairs from runal residents. *Chungnam Medical Journal* 1991; 18(2). (Koh HS, Shim UT, Cho YC. Concentration distribution of metals in hairs from runal residents. *Chungnam Medical Journal* 1991; 18(2).