한국환경보건학회지, 제41권 제4호(2015)
J Environ Health Sci. 2015; 41(4): 231-240
pISSN: 1738-4087 eISSN: 2233-8616
http://dx.doi.org/10.5668/JEHS.2015.41.4.231
원 저 Original articles

수은 고노출 지역 초등학생의 수은노출수준과 노출요인 연구

김대선 · 권영민† · 정희웅 · 남상훈 · 유승도
국립환경과학원 환경보건연구과

A Study on Mercury Exposure Levels among Schoolchildren and Related Factors in High Mercury Exposure Areas in Korea

Dae Seon Kim, Young Min Kwon†, Hee-Ung Chung, Sang Hoon Nam, and Seung Do Yu
Environmental Health Research Department, National Institute of Environmental Research

ABSTRACT

Objectives: Blood mercury levels among adults living in certain areas of the Gyeongsang Provinces have been shown to be very high (Kunwee County 29.6 μg/L, Yeongcheon-city 26.7 μg/L). The purpose of this project was to determine mercury exposure levels in schoolchildren and factors related with their mercury levels in high mercury exposure areas identifyed by the 2007 Korea National Environmental Health Survey.

Methods: From June to September 2010, 1,097 students from grades 3 to 6 at 19 elementary schools participated in this study, including 294 students from 10 elementary schools in Kunwee County, 529 students from Yeongcheon City, 122 students from two elementary schools in Pohang City, North Gyeongsang Province, and 152 students from two elementary schools in Ulsan Metropolitan City. Biological samples from schoolchildren, including whole blood, urine and hair, were collected to measure total mercury at the time of a health check up. Information about children was collected by questionnaire. Total mercury concentrations in blood were measured using the Direct Mercury Analyzer 80 with the gold-amalgam collection method.

Results: The mean mercury levels were 2.70 μg/L in 1,091 blood samples, 2.25 μg/g-creat. in 820 urine samples and 1.03 μg/g in 1,064 hair samples. Blood mercury levels in the schoolchildren was slightly higher than the result of 2.4 μg/L from a 2006 survey of elementary school children on exposure and health effects of mercury by the National Institute of Environmental Research. However, 0.3% and 4.5% of participants exceeded the reference level of blood mercury by CHBMII (15 μg/L) and the US EPA (5.8 μg/L), respectively. The reference level of urine by CHBMII (20 μg/L) was exceeded by 0.4% of participants. As factors, residence period in the study areas, residence type, father's education level and income all showed significant associations with mercury level in the biological samples. The number of dental amalgam sides showed an association with urine mercury. Fish intake preference and fish intake frequency were important factors in mercury levels. In particular, intake of shark meat and recent intake of shark meat were associated with higher mercury levels. In this regard, participation in the performance of an ancestral rite showed a relation with higher mercury levels.

Conclusion: The intake of shark meat was very important factor to high mercury exposure level. It is recommended to monitor and manage students with high mercury exposures who exceeded CHBM II and EPA guidelines, and include blood mercury testing in the Children's Health check up for this province.

Key words: Children, Exposure factors, Mercury

†**Corresponding author:** Environmental Health Research Division, Environmental Health Research Department, National Institute of Environmental Research, Hwangyong-ro 42, Seogu, Incheon, 22689, Korea, Tel: +82-32-560-7137, Fax: +82-32-568-2035, E-mail: u11023@korea.kr
Received: 13 August 2015, Revised: 16 August 2015, Accepted: 17 August 2015

I. 서 론

수은은 오랜 기간 동안 인류의 생활에 있어서 필수적인 금속으로 이용되어 왔으며, 현재에도 의학 및 산업분야에서 널리 사용되고 있다. 대부분의 환경매체에 존재하는 것으로 알려져 있으며, 환경오염이 진행됨에 따라 인체로 유입될 가능성이 증가하고 있으며, 수은이 축적된 식품의 섭취로 인해 만성적으로 수은에 노출될 수 있어 인체에 위험을 초래할 가능성이 지적되고 있다.[1)]

2007년 「국민 생체시료 중 유해물질 실태조사」 결과 경남・북 일부지역 주민의 혈중 수은농도(군위군 고로면 석산리 29.6 μg/L, 영천시 신령면 완전리 26.7 μg/L)가 전국 평균(3.8 μg/L)에 비해 높게 나타났으며,[2)] 2009년 군위군 및 영천시 주민을 대상으로 수은 고노출에 대한 정밀조사결과, 이들 지역에서 오래된 문화로써 명절 및 제사상에 올리는 「돔배기」라는 상어고기 섭취가 주요 노출원으로 추정되었다. 그러나 당시 주요 조사대상이 경로당의 노인 위주로 조사가 이루어졌다.[3)] 당시 「국민 생체시료 중 유해물질 실태조사」에 표본으로 선정된 이두 지역 부근 주민의 수은노출조사를 위해 2010년에 경북, 경남 전지역에 걸쳐 4,000명의 성인을 대상으로 수은노출조사를 실시하였다. 수은의 인체 영향은 주로 뇌손상에 의한 중추신경계 장애를 일으키며, 특히 어린이의 경우 뇌세포 분열, microtubule 형성, 뉴런 이동을 방해하여 성인에 비해 치명적인 영향을 준다고 알려져 있다.[17)] 본 연구는 어린이 건강보호차원에서 고농도 수은노출의 성인들이 거주하는 지역에 있어서 초등학교 학생의 수은노출 수준과 영향요인을 파악하여 수은 고노출 지역 내 건강취약계층의 건강보호 정책수립에 필요한 기초자료를 확보하고자 본 조사를 실시하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 대상지역

본 연구에서는 2007~8년 「국민 생체시료 중 유해물질 실태조사」 사업의 결과, 혈 중 수은농도가 타 지역에 비해 비교적 높게 평가된 지역인 경상북도 군위군 소재 10개 초등학교, 경상북도 영천시 소재 5개 초등학교, 경상북도 포항시 소재 2개 초등학교, 울산광역시 소재 2개 초등학교의 학생 1,097명을 대상으로 조사를 진행하였다.

2. 조사내용 및 방법

본 연구에서는 학생과 부모의 주거환경, 사회경제적 수준, 식이습관, 아말감 여부 등 기타 수은 노출요인 및 건강영향요인을 파악하기 위하여 설문조사를 실시하였고, 건강검진을 통하여 얻어진 혈액 및 요 시료, 모발시료를 이용하여 수은의 생체 노출수준을 조사하였다.

1) 환경과 건강에 관한 설문조사

조사대상 초등학교를 방문하여, '어린이 생활환경 및 건강에 관한 설문서'를 배포하였으며, 설문서의 작성은 학생들의 보호자가 직접 작성하는 것을 원칙으로 하였다. 또한 조사대상 지역인 석산리를 방문하여 1차 조사에 '개인 생활환경 및 건강에 관한 설문서'를 배포하여 조사하였으며, 2차 조사에 '개인 식이사항에 관한 설문조사' 설문서를 배포하여 조사하였다.

2) 생체시료 채취 및 보관

수은 분석을 위한 혈액 및 요 시료의 채취는 초등학교별 학생들과 석산리 지역주민의 건강검진 시에 이루어졌다. 혈액은 vaccutainer needle을 이용하여 채취하였고, 수은 분석을 위한 시료(3~5 ml)는 항응고제(헤파린)가 첨가된 vaccutainer에 넣어 잘 흔들어 주었으며, 시료 분석 시까지 4°C 온도를 유지하며 냉장보관하였다. 요는 50 ml specimen cup에 일시 요를 채취한 후 수은 분석을 위하여 중금속 오염의 우려가 없는 15 ml cornical tube에 분주하여 시료 분석까지 -70°C에서 냉동 보관하였다. 모발은 조사대상자의 후두부 두피로부터 약 5 cm 이내의 모발을 일정량 채취하여 polyethylene bag에 넣어 차광한 후 실험실로 운반하여 시료 분석까지 데시케이터 안에서 보관하였다.

3) 혈액 및 요중 총수은 분석방법

혈중 수은 및 요중 수은분석에 사용된 기기는 자동수은분석기(DMA-80, Milestone)를 사용하였다. 모든 혈액 및 요는 실험 전에 roll-mixer를 이용하여 1시간 이상 교반하였다. 시료의 분석은 골드아말감법(가열기화법)을 이용하였으며, 1,000 ml volumetric flask에 10 mg의 L-cysteine과 2 ml의 질산을 첨가한

후 증류수로 표선을 채워 L-cysteine 용액을 만든 후, 검량선 작성을 위해 wako사의 1,000 ppm Hg용액을 100 ml volumetric flask에 1 ml 넣고 L-cysteine 용액으로 희석하여 10 ppm용액을 만든 후, standard sample을 각각 100 ml volumetric flask에 2, 4, 6, 7 ppb로 희석하여 제조한 후 검량선을 작성하였다.

모든 시료는 사전혼합(pre-mix)한 후 micropipet을 이용하여 sample boat에 100 μl씩 정량하여 주입하였다.

4) 모발 중 총수은 분석방법

a. 시료 전처리

채취한 모발 중에서 약 1 g을 취하여 모발 외부에 부착된 불순물을 증류수 및 아세톤으로 세척하여 완전 제거한 후 105°C의 드라이오븐에서 항량 유지될 때까지 건조시킨 후 데시케이터 내에 보관하여 실온으로 건조한 후 10 mg을 취하여 분석시료로 이용하였다.

모든 시료는 sample boat에 첨가제(MHT, BHT)를 넣고, 10 mg씩 정량하여 주입하여 자동수은분석기로 분석하였다.

b. 분석방법

자동수은분석기(SP-3DS, 일본 NIC co.)를 사용하여, 10~15 mg으로 정확히 평량한 모발시료와 첨가제를 sample boat에 취하여 분석하였다. 표준용액은 1,000 ppm의 수은 표준용액을 0.01% L-cysteine 용액으로 희석하여 사용하였다.

5) 통계처리 방법

본 연구에서 얻어진 생체시료의 수은농도는 기하평균값으로 표시하였다. 생체시료별 농도와 설문조사 결과 간 각 지표의 유의성은 SPSS 18.0 program을 이용하여 일원배치 분산분석(one way ANOVA)과 t-검정으로 확인하였으며, p값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

III. 연구결과

1. 지역 및 조사항목별 조사현황

4개 시·군지역 19개 초등학교 학생 1,097명에 대해 조사하였으며, 설문지 작성은 1,095명, 혈액시료 1,093개, 소변시료 1,090개, 모발시료 1,066개, 치아아말감 검진은 1,097명에 대하여 이루어졌다.

Table 1. Number of participants by tests

Area		Partici-pants	Questi-onnaire	Blood	Urine	Hair	Amalgam
Kunwee county	A	23	23	23	23	21	23
	B	92	92	92	91	91	92
	C	13	13	13	13	13	13
	D	19	19	19	19	19	19
	E	13	12	11	13	13	13
	F	26	26	26	24	25	26
	G	21	21	21	21	18	21
	H	43	43	43	43	39	43
	I	36	36	36	35	36	36
	J	8	8	8	8	8	8
sub total		294	293	292	290	283	294
Yeong cheon city	K	94	94	94	94	93	94
	L	96	96	96	95	92	96
	M	109	109	109	107	101	109
	N	110	110	110	110	110	110
	O	119	118	117	119	112	119
sub total		528	527	526	525	508	528
Ulsan city	P	72	72	71	72	72	72
	Q	80	80	80	80	80	80
sub total		152	152	151	152	152	152
Pohang city	R	99	99	98	99	98	99
	S	24	24	24	24	23	24
sub total		123	123	122	123	121	123
Total		1,097	1,095	1,091	1,090	1,064	1,097

2. 수은의 생체노출수준

전체 조사대상 초등학생 1,097명 중 혈액 1,091명(99.6%), 요 820명(74.9%), 모발 1,064명(97.1%)의 총수은을 분석하였으며, 산술평균은 각각 2.70 ug/L, 2.25 ug/g-creat, 1.03 ug/g, 기하평균은 각각 2.37 ug/L, 1.55 ug/g-creat, 0.85 ug/g 이었다.

조사대상 초등학생들의 수은농도를 독일 인체모니터링위원회(human biomonitoring, HBM) 및 미국 환경청(environmental protection agency, EPA)에서 제정한 기준값과 비교해 보았을 때, HBMII 참고치 초과자는 혈액 및 요 각각 3명(0.3%), 3명(0.4%)이었으며, EPA 참고치 초과자는 혈액 49명(4.5%)로 나타났다.

3. 설문조사를 통한 각종 요인분석

1) 건강관련 항목과 수은 노출수준

Table 2. Mercury concentration in biological samples

Contents	N	Blood(μg/L)					Urine(μg/g_cr)					Hair(μg/g)				
		N	A.M.	S.D.	G.M.	95% C.I.	N	A.M.	S.D.	G.M.	95% C.I.	N	A.M.	S.D.	G.M.	95% C.I.
Kunwee county	294	292	2.65	1.55	2.37	2.25-2.49	224	1.67	1.89	1.18	1.08-1.34	283	0.97	0.68	0.83	0.75-0.87
Yeong cheon city	529	526	2.96	2.03	2.56	2.45-2.67	347	3.19	3.40	2.26	2.09-2.49	508	1.21	1.05	0.96	0.90-1.03
Ulsan city	152	151	2.11	0.88	1.96	1.84-2.08	138	1.35	1.18	1.05	0.94-1.18	152	0.68	0.30	0.62	0.59-0.68
pohang city	122	122	2.45	1.73	2.18	2.02-2.35	111	1.57	1.22	1.31	1.19-1.47	121	0.88	0.62	0.76	0.68-0.83
Total	1,097	1,091	2.70	1.78	2.37	2.31-2.44	820	2.25	2.64	1.55	1.47-1.64	1,064	1.03	0.86	0.85	0.82-0.88

Table 3. Number of exceeds to mercury standards

	N	A.M.	G.M.	HBM I			HBM II			EPA		
				Reference value	Exceed		Reference value	Exceed		Reference value	Exceed	
					N	(%)		N	(%)		N	(%)
Blood (μg/L)	1,093	2.70	2.37	5	72	(6.6)	15	3	(0.3)	5.8	49	(4.5)
Urine (μg/g_cr)	822	2.25	1.54	5	70	(8.5)	20	3	(0.4)	*	*	*
Hair (μg/g)	1,066	1.04	0.85	*	*		*	*		*	*	

Table 4. Mercury concentration by dental amalgam sides

Classification		Less than 5	More than 5	Total	p-value
Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.41 (256) (2.81±2.01)	2.50 (168) (2.83±1.91)	2.45 (424) (2.82±1.97)	0.49
Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.83 (195) (2.57±2.94)	2.82 (127) (4.06±4.24)	2.17 (322) (3.16±3.58)	<0.01
Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	0.86 (252) (1.11±1.08)	0.88 (162) (1.08±0.96)	0.87 (414) (1.10±1.03)	0.60

Table 5. Mercury concentration by residential environment

Classification			Western type	Korean type	Multiflex house	Apartment		ETC.	Total	p-value
						Below the 5th floor	More than 5th floor			
Residence house types	Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.45 (336) (2.77±1.62)	2.48 (151) (2.83±1.85)	2.30 (153) (2.58±1.45)	2.28 (91) (2.62±2.02)	2.39 (307) (2.81±2.17)	2.38 (171) (2.80±2.26)	2.40 (1209) (2.76±1.91)	0.07
	Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.59 (242) (2.34±2.55)	1.44 (101) (2.01±1.82)	1.59 (125) (2.47±3.99)	1.39 (70) (1.88±2.23)	1.62 (244) (2.33±2.29)	1.54 (133) (2.30±2.49)	1.56 (915) (2.28±2.63)	0.01
	Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	0.86 (331) (1.05±0.85)	0.90 (140) (1.09±0.84)	0.81 (1.48) (0.98±0.70)	0.80 (92) (0.96±0.70)	0.86 (299) (1.08±1.06)	0.88 (166) (1.10±1.10)	0.86 (1176) (1.05±0.92)	<0.01
Classification			Below 1year	1~3 year	3~5 year	5~10 year	10~12 year	More than 12 year	Total	p-value
Residence period in survey area	Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.05 (47) (2.25±1.03)	2.39 (204) (2.67±1.54)	2.30 (205) (2.61±1.81)	2.35 (290) (2.68±1.74)	2.30 (170) (2.54±1.36)	2.62 (164) (3.14±2.43)	2.36 (1,080) (2.69±1.77)	0.02
	Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.42 (39) (1.91±1.46)	1.68 (15) (2.47±2.71)	1.40 (148) (2.16±3.06)	1.56 (229) (2.25±2.96)	1.62 (127) (2.30±2.19)	1.46 (116) (2.09±1.98)	1.54 (812) (2.24±2.64)	0.39
	Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	0.71 (47) (0.83±0.48)	0.83 (201) (0.98±0.73)	0.82 (201) (0.97±0.82)	0.86 (279) (1.07±0.91)	0.82 (166) (0.98±0.70)	0.93 (160) (1.20±1.13)	0.84 (1,054) (1.03±0.86)	0.08

아말감치료면수에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 아말감치료면수가 증가함에 따라 각 생체시료 중 수은농도가 증가하였으며, 요중 수은농도가 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

2) 거주환경과 수은 노출수준

거주하는 집의 형태에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 양옥집과 한옥집에 산다고 응답한 군이 다세대주택, 아파트 5층 이하 등에서 산다고 응답한 군에 비해 혈중 수은농도가 비교적 높은 것으로 나타났다.

거주기간에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 해당지역 거주기간에 따라 혈중 수은농도가 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

거주하는 집과 차가 다니는 인접도로와의 거리에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 유의한 차이가 없었다.

Table 6. Mercury concentration by food intake

	Classification		Like	Common	Don't like	Total	p-value
Fish intake preferemce	Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.57 (498) (2.97±2.08)	2.23 (492) (2.49±1.45)	2.03 (89) (2.28±1.28)	2.37 (1,079) (2.70±1.77)	<0.01
	Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.62 (357) (2.38±2.80)	1.47 (386) (2.12±2.30)	1.56 (68) (2.29±3.47)	1.54 (811) (2.25±2.64)	0.28
	Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	0.92 (488) (1.13±1.00)	0.79 (480) (0.95±0.71)	0.71 (85) (0.86±0.66)	0.84 (1,053) (1.03±0.86)	<0.01
	Classification		<1time weekly	≥1time weekly	Total		p-value
Fish intake frequency	Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.27 (545) (2.61±1.82)	2.52 (474) (2.85±1.78)	2.38 (1,019) (2.75±1.80)		<0.01
	Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.51 (407) (2.14±2.46)	1.62 (356) (2.41±2.92)	1.56 (763) (2.27±2.69)		0.22
	Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	0.52 (529) (1.01±0.88)	0.88 (467) (1.06±0.86)	0.85 (996) (1.03±0.87)		0.05
	Classification		No intake group	Intake group	Total		p-value
Shark meat intake preference	Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.13 (661) (2.34±1.11)	2.79 (409) (3.28±2.40)	2.36 (1,070) (2.70±1.78)		<0.01
	Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.36 (508) (2.01±2.48)	1.91 (295) (2.67±2.87)	1.54 (803) (2.25±2.65)		<0.01
	Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	0.74 (651) (0.85±0.55)	1.05 (393) (1.32±1.14)	0.84 (1,044) (1.03±0.86)		<0.01
	Classification		After 1 week	Within 1week	Total		p-value
Time trend after shark meat intake	Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.77 (358) (3.26±2.42)	3.38 (23) (3.98±2.87)	2.80 (381) (3.31±2.45)		<0.01
	Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.89 (263) (2.65±2.96)	3.06 (12) (3.52±2.09)	1.93 (275) (2.69±2.93)		<0.01
	Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.05 (344) (1.33±1.16)	1.19 (22) (1.49±1.23)	1.06 (366) (1.34±1.17)		<0.01
	Classification		No intake	<1time weekly	≥1time weekly	Total	p-value
Frequency of meat intake	Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.87 (8) (3.22±1.65)	2.43 (386) (2.80±2.07)	2.35 (653) (2.68±1.67)	2.38 (1,047) (2.73±1.83)	0.99
	Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.55 (7) (1.94±1.63)	1.52 (286) (2.21±2.67)	1.58 (495) (2.31±2.68)	1.56 (788) (2.27±2.67)	0.19
	Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.52 (7) (1.84±1.17)	0.86 (375) (1.05±0.90)	0.83 (637) (1.02±0.85)	0.85 (1,019) (1.04±0.87)	0.07

Table 7. Mercury concentration by the preference meal

Classification		Vegetable	Meat	Fish	ETC	Evenly	Total	p-value
Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.21 (86) (2.38±1.01)	2.27 (293) (2.60±1.70)	2.51 (67) (2.82±1.55)	2.07 (62) (2.27±1.16)	2.52 (566) (2.91±2.03)	2.40 (1,074) (2.74±1.82)	0.16
Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.49 (58) (2.08±2.02)	1.42 (232) (2.04±2.30)	1.55 (49) (2.21±2.19)	1.41 (46) (2.43±4.17)	1.66 (421) (2.42±2.77)	1.55 (806) (2.27±2.66)	0.03
Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	0.79 (86) (0.90±0.50)	0.81 (283) (1.01±0.86)	0.81 (67) (0.93±0.68)	0.73 (59) (0.84±0.50)	0.91 (551) (1.12±0.97)	0.85 (1,046) (1.04±0.87)	<0.01

3) 식이사항과 수은 노출수준

생선류 음식 선호도에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 생선류 음식을 좋아할수록 혈액 및 요 중 수은농도가 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

생선류 음식의 섭취빈도에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 주1회 이상 섭취한다고 응답한 군이 주1회 미만 섭취한다고 응답한 군에 비해 각 생체시료 중 수은농도가 높게 나타났으며, 혈중 수은농도에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

상어고기 섭취여부에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 섭취한다고 응답한 군이 섭취하지 않는다고 응답한 군에 비해 각 생체시료 중 수은농도가 높게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.01$).

상어고기 섭취시기에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 1주일 이내 군이 1주일 이후 섭취군보다 수은농도가 높게 나타났으며, 상어고기 섭취시기에 따라 요중 수은농도가 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

육류(고기)의 섭취빈도에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 육류섭취를 하지 않는 군의 혈액 및 모발 중 수은농도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 주 1회 이상 섭취하는 군의 수은농도가 가장 낮은 것으로 나타났으며 통계적으로 유의하지는 않았다.

하루에 식사하는 횟수에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 식사횟수가 3끼 이상인 경우의 혈액 및 모발 중 수은농도가 3끼 미만인 경우에 비해 비교적 높은 것으로 나타났으나 유의하지는 않았다.

주로 즐겨먹는 음식의 형태에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 골고루 식사한다고 답한 군의 각 생체시료 중 수은농도가 가장 높았으며, 생선류를 주로 섭취하는 군에서도 비교적 높은 수준을 보였다. 시료별로는 뇨($p<0.05$), 모발($p<0.01$) 중 수은농도에서 통계적으로 유의한 결과를 나타냈다.

4) 사회・경제관련 항목과 노출수준

부모 교육수준에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 아버지 교육수준에 따라 혈액 및 모발 중 수은농도가 통계적으로 유의한 차이가 있었으나($p<0.01$), 어머니 교육수준의 경우 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

수입수준에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 수입수준에 따라 요중 수은농도가 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

제사 참여 여부에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 제사 참여군이 비참여군에 비해 각 생체시료 중 수은농도가 높게 나타났으며, 요중 수은농도가 통계적으로 유의한 차이가 있었으며($p<0.05$), 모발중 수은농도는 낮은 유의성을 보였다($p=0.10$).

제사횟수에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 제사횟수가 증가할수록 혈중 수은농도가 증가하는 경향을 나타냈으나 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다.

실외에서 활동하는 시간에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 1시간 이상 실외에서 활동한다고 응답한 군의 혈액 및 모발 중 수은농도가 1시간 미만인 경우에 비해 비교적 높게 나타났으나 유의하지 않았다. 부모와의 동거여부에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 유의한 차이가 없었다.

Table 8. Mercury concentration by social & economic variables

Classification			≤Middle high school	Senior high school	≥College	Total	p-value
Father's educated level	Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.84 (89) (3.48±2.90)	2.25 (615) (2.52±1.55)	2.40 (326) (2.72±1.66)	2.35 (1,030) (2.67±1.76)	<0.01
	Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.62 (57) (2.46±2.76)	1.49 (489) (2.18±2.77)	1.56 (235) (2.23±2.36)	1.52 (781) (2.22±2.65)	0.65
	Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.04 (89) (1.38±1.34)	0.81 (596) (0.96±0.75)	0.83 (322) (1.02±0.84)	0.84 (1,007) (1.02±0.85)	<0.01
Classification			≤2million won	2-4million won	≥4million won	Total	p-value
Income	Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	2.39 (355) (2.72±1.72)	2.32 (468) (2.65±1.82)	2.37 (189) (2.66±1.55)	2.35 (1,012) (2.68±1.73)	0.61
	Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	1.51 (255) (2.25±2.70)	1.47 (363) (1.99±1.93)	1.80 (145) (2.88±3.89)	1.54 (763) (2.25±2.68)	0.03
	Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)	0.85 (340) (1.03±0.83)	0.82 (459) (1.01±0.86)	0.83 (188) (1.00±0.79)	0.83 (987) (1.01±0.84)	0.66
Classification				Yes	No	Total	p-value
Participation to ceremony for ancestor	Blood (μg/L)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)		2.38 (825) (2.78±1.88)	2.32 (254) (2.59±1.39)	2.36 (1,079) (2.70±1.77)	0.46
	Urine (μg/g_cr)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)		1.59 (619) (2.27±2.53)	1.38 (192) (2.15±2.97)	1.54 (811) (2.24±2.64)	0.02
	Hair (μg/g)	G.M. (N) (A.M.±S.D.)		0.86 (803) (1.06±0.92)	0.80 (250) (0.94±0.63)	0.84 (1,053) (1.03±0.86)	0.10

IV. 고 찰

2007년 환경부에서 전국적으로 실시한『국민 생체시료 중 유해물질 실태조사』에서 나타난 수은 고노출 지역 내 초등학생의 수은노출수준과 건강영향을 파악하고자 실시된 본 조사결과, 경북 군위군・영천시, 포항시 및 울산광역시 19개 초등학교 1,097명 초등학생들의 평균 수은노출 수준은 혈중 2.70 μg/L, 요중 2.25 μg/g-creat.로 나타났다. 이는 2007년 국민 생체시료 중 유해물질 실태조사 결과에서 해당지역 성인이 전국평균에 비해 약 7~8배 가량 높게 나타난 것과 같이 높은 수준을 보이지 않았으며,[2] 2006년 국립환경과학원에서 약 2,000명의 초등학생들을 대상으로 실시한 국내 연구결과의 혈중 수은농도(2.42 μg/L)에 비해 약 10% 정도 높았다(p<0.01).[4] 국외 연구 중 1999년부터 2002년에 미국 NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey)의 조사결과 1~5세 유아의 혈중 수은농도는 2.21 μg/L, 중국의 3세 이상 아동들을 대상으로 조사한 혈중 수은농도는 3.5 μg/L, 미국 ATSDR에서 7~19세 아이들을 대상으로 조사한 경우 1.39 μg/L로 나타났다.[5]

설문조사 중 건강관련 항목들로 아말감 치료면수가 많을수록 생체시료 중 수은농도가 비교적 높게 나타났으며, 요 중 수은농도와 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 치료목적으로 약을 복용하거나, 한약 및 비타민 복용 여부, 예방백신 접종여부, 간접흡연 등이 수은 농도에 유의하게 영향을 미치지는 않았다. 이러한 결과는 한약과 수은을 포함한 중금속 독성 간 관련이 있다고 알려진 연구를 비롯해, 수입된 한약재 중 고농도 수은이 검출된 국외사례와 같이, 한약복용으로 인해 체내 수은농도가 증가할 가능성이 있다고 알려져 있지만,[6] 본 연구에서는 그러하지 않았다.

거주환경의 경우, 단독주택 거주가 다세대 및 아파트 거주자보다 수은농도가 높았으며거주하는 집과 인접도로와의 거리 등 환경적인 요인에 따라 수은농도가 변화하는 양상을 보이지 않았다.

생선류음식 선호도 및 섭취빈도의 증가에 따라 혈액 및 모발 중 수은농도가 유의적으로 증가하였

으며, 주로 즐겨먹는 식이의 형태가 골고루 섭취하거나 어류를 주로 먹는 경우 수은노출수준이 높아지는 것으로 나타났다. 상어고기를 섭취한다고 응답한 군의 각 생체시료 중 수은농도가 섭취하지 않는다고 응답한 군에 비해 높게 나타났다($p<0.01$).

또한 상어고기 섭취시기의 경우 요 중 수은농도에 따라 유의한 차이가 있었으며, 섭취 1주일 이내라고 응답한 경우가 섭취 1주일 이후라고 응답한 경우보다 수은농도가 높게 나타났다. 상기 결과를 통해 상어고기 섭취가 수은농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 지역은 제사 때 마다 상어고기를 섭취하는 문화를 갖고 있는 바, 제사와 관련된 문항의 조사결과, 제사에 참여한다고 응답한 경우가 참여하지 않는다고 응답한 경우보다 각 생체시료 중 수은농도가 높게 나타났으며, 제사횟수에 의한 수은농도는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 부모의 교육수준이 높을수록 수은농도가 낮았으며($p<0.01$),수입이 많을수록 뇨중 수은이 높은 경향을 보였다($p<0.05$).

한편, 동물실험을 통한 최근 연구결과에 따르면 비타민 E는 항산화작용으로 산화적 스트레스를 줄이고, 수은 및 유해중금속으로 인한 신장 및 남성의 생식기 손상을 억제시키며, 수은농도수준을 저감시킨다고 알려져 있다.[7,8] 또한 세포실험을 통하여 수은에 의해 생성된 활성산소종(ROS)을 비타민 C가 제거 또는 최소화하는 역할을 한다는 보고가 있었으나,[9] 약품복용력 항목 중 비타민제(종합비타민, 비타민C·E 등) 복용여부에 따른 수은농도를 살펴본 결과, 복용군과 비복용군 간에 수은농도의 차이가 유의하게 나지 않았다.

일반적으로 상어는 종류가 다양하며 수생동물의 먹이사슬에 있어 최상의 포식성 어종에 위치하고 있다. 수중에서의 이러한 위치로 인하여 상대적으로 다른 어류들보다 높은 수은농도를 나타내고 있으며, 섭취하는 어류종류 및 상어의 어체 길이·나이·성별에 따라 상어별로 수은농도가 다르게 나타난다.[10] 본 조사가 실시된 지역의 경우, 명절상이나 제사상에 상어고기 구이와 산적을 올리고 있다. 상어고기의 섭취와 관련하여 외국의 경우, 임신부나 임신가능성이 있는 여성의 경우뿐만 아니라 어린이들도 상어고기 섭취를 자제하도록 하고 있다.[11] 국내의 경우 상어고기 섭취와 관련된 권고는 없으나, 식품의약품안전청에서는 일반 어류의 총수은 함량 기준을 0.5 μg/g, 심해성 어류의 메틸수은 함량 기준을 1.0 μg/g으로 정하고 있다.[12]

본 조사에서는 생선류 음식선호도, 상어고기 섭취여부 및 섭취시기 등에 관해 조사했으며, 상어고기가 사용되는 계기인 제사 참여 및 제사횟수 등에 대해 함께 조사하였다. 본 연구결과, 생선류 음식을 선호하고 자주 섭취할수록 수은농도가 증가하는 경향이 확인되었다. 이는 생선섭취빈도가 증가할수록 혈중 수은농도가 통계적으로 유의하게 높아진다는 다른 연구결과와 유사한 경향을 보였다.[13] 제사참여 및 제사횟수를 조사한 결과 제사에 참여하는 경우 수은농도가 증가하는 것으로 나타났으며, 제사횟수가 증가할수록 혈중 수은농도가 증가하는 경향이 나타났다. 또한 상어고기를 섭취한 경우 및 섭취시기가 최근일수록 수은농도가 더 높게 나타났다. 이러한 결과는 European Commission 및 USEPA 등 국외 연구에서 수은함량이 많다고 알려진 상어고기 섭취로 인한 영향이라고 판단되며, 국내 연구 중 일부 지역주민의 수은노출 조사결과와 일치하고 있다.[3] 주로 즐겨먹는 음식의 형태에 따른 생체시료 중 수은농도를 살펴본 결과, 골고루 식사하는 군의 각 생체시료 중 수은농도가 가장 높았고, 생선류를 주로 섭취하는 군에서도 비교적 높은 수준을 보였으며, 야채를 주로 섭취하는 군에서 수은농도가 낮은 것으로 조사되었다. 이는 야채 및 과일의 섭취빈도가 많아질수록 혈중 수은농도가 낮아진다는 기존의 연구결과와 유사한 경향을 보인다고 할 수 있다.[14]

간접흡연 여부에 따른 초등학생들의 수은농도경향을 살펴본 결과, 간접흡연을 하는 군의 생체시료 중 수은농도가 간접흡연을 하지 않는 군에 비해 비교적 높은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 흡연을 하거나 간접흡연을 하는 사람들이 비흡연군에 비해 수은노출수준이 비교적 높다는 기존의 일부 연구결과와 일치하지 않았다.[14,15] 구강검진을 통해 조사된 아말감치료여부 항목을 아말감치료 면수 5개를 기준으로 나누어 분석한 결과, 치료면수가 많을수록 요중 수은농도가 높았고 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 독일의 어린이를 대상으로 아말감치료 여부에 따른 요 중 수은농도를 조사한 결과 및 국내에서 초등학생을 대상으로한 결과

또한 본조사와 마찬가지로 치료를 받은 경우가 더 높게 나타났다.[4,16]

이상에서 언급된 본 조사의 주요결과를 종합하면, 해당지역 초등학생의 노출수준 및 수은 노출원으로서 여러 가지 요인들의 인체영향은 크게 우려할 만한 결과를 나타내지 않고 있다. 다만, 수은노출과 관련이 있는 것으로 나타난 식이와 관련하여 도출된 결과 및 HBMII 초과 아동들이 있었음은 유의해야 할 점이다. 본 조사를 통해 성인들의 고노출이 확인된 지역 내 초등학생들의 노출수준은 파악되었으나, 앞으로도 이들 지역의 지속적인 조사 및 분석이 필요할 것이다. 따라서 이지역의 경우 초등학생들의 건강검진 시 혈중 수은농도 조사과정이 추가되어 수은 고노출 학생들을 발견 및 관리하여야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 사업은 어린이 건강보호차원에서 고농도 수은 노출의 성인들이 거주하는 지역에 있어서 초등학교 학생의 수은노출 수준과 영향요인을 파악하기 위하여, 수은 고노출 지역인 경상도 지역 19개 초등학교 1,097명을 대상으로 생체시료 중 수은농도를 분석하고 영향요인조사를 한 결과,본 조사지역 초등학생의 전체적인 노출수준은, 2006년도 우리나라 일반지역의 초등학생과 비교하였을 때, 성인과 달리 약 10% 정도 높게 나타난 것으로 파악되었다. 그러나 국외 수은노출수준 가이드라인과 비교 시, 혈중 수은농도의 경우 CHBM II 및 EPA기준을 초과하는 학생들이 발견되어 이들에 대한 주의와 관리가 필요하다.

노출요인으로는, 아말감 치료면수가 많을수록 생체시료 중 수은농도가 비교적 높게 나타났으며, 치료목적의 약물복용, 한약 및 비타민 복용 여부, 예방백신 접종여부, 간접흡연 등이 수은 농도에 유의하게 영향을 미치지는 않았으며, 거주형태가 수은농도에 차이를 보였다. 생선류 선호도 및 섭취빈도에 따라 생체시료내 수은농도가 유의하게 높았으며, 특히 상어고기 섭취 및 섭취시기가 수은농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 지역의 경우, 초등학생 건강검진 시 수은검사를 포함하여 모니터링 및 관리할 것을 제안한다.

References

1. Ministry of Food and Drug Safety. Study of vatious types of mercury toxicity and development of biomarker from blood. 2008.
2. National Institute of Environmental research. The Korea National survey for environmental pollutants in human body, 2007.
3. National Institute of Environmental research. Assessment of mercury exposure and health in Gyeongsangbul-do. 2009.
4. National Institute of Environmental research. A study on exposure and health effect of mercury(II). 2006
5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Review of mercury health services' blood mercury data for selected parishes in Louisiana, various parishes, Louisiana. Available: http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/PHA/variousparishes [accessed 28 January 2012].
6. Ko RJ. Adulterants in Asian patent medicines. *New Engl J Med.* 1998; 339: 847.
7. Agarwal R, Goel SK, Chandra R, Behari JR. Role of vitamin E in preventing acute mercury toxicity in rat. *Environmental Toxicology and Pharmacology.* 2010; 29: 70-78.
8. Al-Attar AM. Antioxidant effect of vitamin E treatment on some heavy metals-induced renal and testicular injuries n male mice. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 2011; 18: 63-72.
9. Kwon KJ, Sheen YY. Effect of vitamin C and GSH on the Hg induced ROS. *Journal of Environmental Toxicology.* 2008; 23(1): 33-39.
10. De Pinho AP, Guimaraes JRD, Martins AS. Total mercury in muscle tissue of five shark species from Brazilian offshore waters: effects of feeding habit, sex, and length. *Environ Res.* 2002; 89(3): 250-258.
11. Grigg J. Environmental toxins: their impact on children's health. *Arch Dis Child.* 2004; 89: 244-250.
12. Ministry of Food and Drug Safety. Methylmercury in foods. 2007.
13. Kim CW, Kim YW, Chae CH, Son JS, Park SH, Koh JC, et al. The effects of the frequency of fish consumption on the blood mercury levels in koreans. *Korean J Occup Environ Med.* 2010; 22(2): 114-121.
14. 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): 229-238.
15. Jo EM, Kim BG, Kim YM, Yu SD, You CH, Kim

JY, et al. Blood mercury concentration and related factors ni an urban coastal area in Korea. *Journal of Preventive Medicine and Public Health.* 2010; 43(5): 377-386.
16. Link B, Gabrio T, Piechotowski I. Baden-Wuerttemberg Environmental Health Survey(BW-EHS) from 1996 to 2003: toxic metals in blood and urine of children. *Int J Hyg Environ Helath.* 2007; 210(3): 357-371.