

국내 3-7세 어린이의 혈중 납, 수은, 카드뮴 농도와 관련요인

서주희 · 김병권* · 김유미* · 김록범* · 정진용 · 홍영섭*†

동아대학교 중금속노출 환경보건센터

*동아대학교 의과대학 예방의학교실

Lead, Mercury and Cadmium Concentration in Blood and Related Factors among Korean Preschoolers

Ju-Hee Seo, Byoung-Gwon Kim*, Yu-mi Kim*, Rock-Bum Kim*,

Jin-Yong Chung, and Young-Seoub Hong*†

Heavy Metal Exposure Environmental Health Center, Dong-A University

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

Heavy Metal Exposure Environmental Health Center, Dong-A University

ABSTRACT

Objectives: Children are more susceptible to heavy metal toxicity than adults. The purpose of this study was to evaluate heavy metal concentrations in the blood of Korean preschoolers and investigate the association between metals in blood and related factors.

Methods: A total of 512 subjects from 36 to 83 months of age were sampled. A questionnaire survey was performed and the levels of lead, mercury and cadmium were measured in the blood samples of all subjects. Their parents were interviewed in order to obtain information on basic characteristics, dietary patterns, socio-economic factors, and indoor/outdoor environment of the preschoolers. Multiple linear regression was used to analyze the association between the above factors and lead, mercury or cadmium concentrations.

Results: The geometric mean concentrations of lead, mercury and cadmium in the blood were $1.45 \pm 1.58 \mu\text{g/dL}$, $2.14 \pm 1.74 \mu\text{g/L}$ and $0.23 \pm 1.91 \mu\text{g/L}$, respectively. Results from multiple linear regression analysis showed that blood lead levels were associated with birth weight and paternal smoking status. Daily mercury intake from food and maternal education were also shown to influence mercury concentrations in blood. Also, blood cadmium concentrations were associated with maternal age and having a bus garage near the place of residence.

Conclusion: This study suggests that smoking status, dietary patterns and the environmental status near the residence should be considered as important factors for preventable sources of heavy metal exposure in preschoolers.

Keywords: Cadmium, Children, Lead, Mercury, Risk factors

I. 서 론

중금속 노출은 신장 기능 장애, 심혈관계 및 조혈

계, 생식계, 신경계 등에 영향을 주는 인간에게 심각한 유해 원인이다.¹⁾ 이러한 중금속은 토양, 먼지, 음용수, 대기 중 공기와 음식을 포함하는 다양한 환

†Corresponding author: Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Dong-A University, Gudeok Campus, Dongdaesin-dong 3-ga, Seo-gu, Busan, 602-714, Korea, Tel: +82-51-240-2888, Fax: +82-51-253-5729, E-mail: yshong@dau.ac.kr
Received: 21 May 2014, Revised: 24 June 2014, Accepted: 25 August 2014

경 매체로부터 사람에게 피부 접촉, 흡입과 섭취를 통해 노출된다.^{2,3)} 납은 미세한 납 입자가 흡입되거나 납 화합물 섭취를 통해 노출될 수 있으며, 저농도의 노출에도 건강장애 및 행동장애를 유발하는 것으로 보고되고 있다.^{4,5)} 수은의 주요 노출은 어류를 통해 발생하며, 고농도의 메틸수은의 노출은 인체의 중추신경계와 신장에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.⁶⁾ 카드뮴은 출생시 인체에는 거의 존재하지 않지만 성장에 따라 호흡기와 소화기를 통하여 섭취되고 체내의 조직이나 장기에 축적되어 건강 장애를 일으키는 것으로 알려져 있다.⁷⁾

어린이는 행동, 식이, 신진대사 그리고 생리적 특성 때문에 유해 중금속 노출에 매우 민감한 집단이다.⁸⁾ 기어 다니는 행동, 손을 입에 갖다 대는 행동 등과 같은 어린이의 행동 특성으로 인해 토양, 집 먼지 그리고 장난감 등을 통해서 중금속에 더 쉽게 노출될 수 있다.¹⁾ 또한 어린이는 성인에 비해 중금속 노출 시 흡수가 더 빠르고,¹⁾ 발달하고 있는 신체 기관계에 영향을 줄 가능성이 있으며 저농도의 노출도 건강에 유해한 것으로 보고되었다.^{4,5,9-12)}

어린이의 중금속 노출로 인한 건강영향에 대해 다양한 연구가 수행되었다. 이중 납 노출에 의한 건강영향은 성장발달 지연, 지능 감소, 학습 장애, 활동향진 등이 있다.⁹⁾ 어린이의 수은 노출은 성장발달 장애, 인지발달 지연, 체중 감소 등의 건강영향과 관련이 있으며,^{10,11)} 카드뮴 노출은 신장과 폐, 장 손상을 포함할 수 있고, 지능 저하와 운동기능 감소 등의 건강영향과 관련이 있다.^{5,12)}

이전 연구를 통해 중금속 노출과 관련이 있다고 알려진 인구사회학적 요인은 경제적 상태와 부모의 교육수준이 있으며, 생활행태 요인으로 가정에서의 간접흡연과 관련이 있었다.¹³⁻¹⁵⁾ 또한 거주환경과 식이 역시 중금속 노출과 관련이 있었다.¹⁶⁻¹⁸⁾

국내에서도 이러한 어린이의 중금속 노출과 건강영향에 대한 학문적, 사회적 관심이 증대되었고 다양한 연구가 촉발되었다. 그러나 전국 규모의 표본을 통한 대표성 있는 어린이의 중금속 노출 수준과 위험요인에 대한 근거는 부족한 형편이다.

따라서 이 연구는 전국 규모의 현장 조사를 통해 상대적으로 대표성을 가진 취학전 어린이의 혈중 중금속 노출수준(납, 수은, 카드뮴)을 분석하고 이에 영향을 주는 관련 요인을 탐색하고자 하였다.

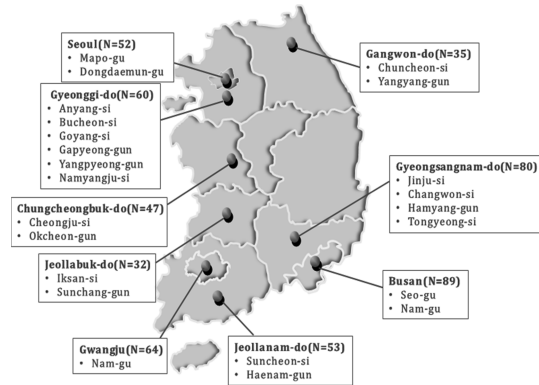


Fig. 1. Locations of the nine survey sites.

II. 대상 및 방법

1. 연구참여자

연구참여자는 전국 9개 지역을 인구구성비에 근거한 제곱근 비례할당 추출방법에 의해 지역을 선정한 후 각 지역의 어린이 인구구성비를 고려하여 표본수를 산출하였다(Fig. 1). 할당된 지역 내에서는 병원, 보건소, 어린이집 등을 임의표집하여 연구참여자를 모집하였다. 2010년 6월부터 2011년 9월까지 사전 교육된 조사원에 의해 거점기관별 조사를 수행하였다. 만 7세 미만의 취학전 어린이 1,017명이 연구참여자로 모집되었고, 그 중에서 3~7세 어린이 684명에서 혈액 시료를 채취하였다. 혈중 납, 수은, 카드뮴 농도 중에서 자료가 하나라도 없거나 출생시 체중, 식품을 통한 중금속 섭취량 변수가 결측값인 경우를 제외한 512명을 이 연구의 최종 분석대상으로 선정하였다. 이 연구는 2010년부터 2012년까지 수행한 '유해물질 안전관리 통합노출 평가기반 연구'의 자료를 활용하였다.¹⁹⁾ 대상자 모집 및 연구수행 절차에 대해 본 연구의 책임기관인 단국대학교의 연구 윤리 심의위원회(IRB, Institutional Review Board) 승인을 받은 후 진행하였다.

2. 설명변수와 조사방법

중금속 노출과 관련한 변수를 어린이의 기본 특성, 사회경제적 요인, 식이요인 및 실내외 환경요인으로 나누어 설문조사를 통해 조사하였다. 설문조사는 조사 전 훈련된 조사원에 의한 개인 면접 방식으로 연구참여자인 취학전 어린이와 함께 거주하고 있으면

서 그들 생활을 잘 알고 있는 보호자에 의해 작성되었다.

어린이의 기본 특성은 성별과 월령, 출생 체중, 엄마의 연령, 출생 순위, 분만 방법이었고, 사회경제적 요인은 부모의 교육수준과 가계의 월수입, 거주 지역이었다. 실내 환경은 주 양육 장소와 아버지의 흡연 상태, 실내의 흡연 노출을 고려하였고, 실외 환경은 거주지 주변의 공장 여부와 버스나 택시 종점 여부를 고려하였다. 사회경제적 요인 중 부모의 교육 수준은 고등학교 졸업 이하, 기술(전문)학교 졸업 이상-대학교 재학 중 또는 졸업 이하, 대학원 재학 이상으로 분류하였다. 가계의 월수입은 가족수를 고려하여 삼분위수를 이용하여 구분하였고, 거주지는 주소지를 기준으로 '읍, 면'은 농촌, '동'은 도시로 구분하였다.

식이 조사는 식품섭취빈도조사 자료와 비연속적인 2일간의 24시간 회상법을 활용하였고, 이를 통해 개인별 식품별 섭취량을 산출하였다. 우리나라 국민의 식품섭취양상을 반영하는 '국민건강영양조사 제4기 1차년도(2007)와 2차년도(2008)'의 영양조사자료 중에서 24시간 회상법으로 조사된 '식품섭취량 자료'를 이용하여 다소비 식품, 다빈도 식품, 에너지 급원 식품, 에너지 빈이 식품, 중금속 함량을 기준으로 중금속 섭취량을 산출하기 위한 분석 식품을 선정하였다. 선정된 분석 식품은 7개 대도시의 대형마트 및 시장에서 식품시료를 구매하여 아이스박스에 담아 이동하여 손질한 후 분석 전까지 냉동고에 보관하였다.

식품 내 중금속 분석은 마이크로파 분해법을 이용하여 전처리 과정 후 ICP-MS법을 이용하였다. ICP-MS에 의한 중금속 정량의 검량선은 검출한계에 가까운 범위부터 고농도 범위까지 7개의 point를 설정하였고, 좋은 직선성을 확보하였다. 최근 개정 고시된 식품공전을 토대로 일반성분시험법 중 중금속에 대한 검출한계 적용 기준이 없어, 분석법의 감도와 바탕선의 재현성까지 감안한 Kaiser의 식을 적용하였다. 식품 내 중금속 함량 분석결과가 불검출로 해당 분석법의 검출한계(LOD) 이하는 중금속 노출평가를 위하여 검출한계의 1/2로 처리하였다.

식품 내 중금속 분석 결과에 대한 신뢰도를 확보하기 위해 NIST(National Institute of Standard & Technology)에서 표준 참고 물질 (SRM, Standard

Reference Materials)을 구입하여 식품 내 중금속에 대한 내적 정도 관리를 수행하였고, 영국 환경식품농림부에서 주관한 잔류농약분야 국제 분석능력 평가프로그램(FAPAS, Food Analysis Performance Assessment Scheme)을 수행하여 기준 허용 범위를 만족하였다. 식품의 중금속 함량 자료들이 극단값에 의하여 분포가 치우쳐 있어서 극단값에 영향을 받는 평균값보다는 식품별 중위수 함량을 적용하여 식이 조사 자료의 개인별 식품별 섭취량을 곱하여 식이를 통한 개인별 중금속 섭취량을 산출하였다.²⁰⁾

3. 혈액 시료 채취와 중금속 분석 방법

EDTA tube를 이용하여 혈액 4 ml를 채혈하여 15분간 혼합한 후 냉장상태를 유지하여 -80°C 냉동 보관하였다. 현장 검진을 통해 시료 채취가 완료된 후 냉동한 검체를 이용하여 분석하였다.

혈중 납과 카드뮴은 분석시료를 혼합기를 이용하여 균질화한 후 0.15 ml를 취해 0.2% Triton X-100 희석액 1.2 ml와 3차 증류수 0.15 ml를 가하고 잘 혼합하여 전처리 과정을 거친 후 원자 흡광 광도계 (Atomic Absorption Spectrophotometer-Graphite Furnace, AA240Z series, Varian, USA and Agilent 200 series, Agilent Technologies, USA)에 주입하여 분석하였다. 혈중 수은은 특별한 전처리 과정 없이 시료 100 µl(100 mg)을 자동수은분석기(DMA80, Milestone Co, Italy)를 사용하여 분석하였다.

중금속의 검정곡선 작성을 위해 0.5-50 µg/L 농도 범위의 표준용액을 제조하여 시료 전처리 방법과 동일하게 분석하였으며 그 결과로, 검정곡선을 작성하였을 때 상관계수(R²)가 0.999 이상인 좋은 직선성을 나타내는 것을 확인하였다. 또한 중금속의 검출한계를 산출하기 위해 시그마법을 사용하였는데 중금속별로 한 가지 농도를 7회 반복 분석한 후 그 결과 값의 표준편차를 이용하였다. 검출한계는 한 농도를 7회 반복 분석한 값의 표준편차에 3.14를 곱한 값을 사용하였다. 혈중 납과 수은, 카드뮴의 경우 검정곡선의 최저 농도인 0.5 µg/L를 7회 반복 측정된 결과의 표준편차를 사용하여 검출한계를 구하였으며 납과 수은, 카드뮴의 검출한계는 각각 0.20 µg/L, 0.10 µg/L, 0.20 µg/L이었다. 검출한계 이하의 값으로 검출되지 않는 값은 검출한계(LOD)/2로 산출하였다. 혈중 납과 수은, 카드뮴의 검출률은 각각 98.84%,

99.35%, 91.36% 이었다.

중금속에 대한 분석법의 유효성을 검증하기 위하여 NIST에서 구입한 표준 참고 물질 (SRM) 955c 을 구입하여 혈중 납과 수은, 카드뮴에 대한 내적 정도 관리를 수행하였다.²¹⁻²³⁾ 표준참고물질을 분석하는 방법은 시료분석과 동일한 방법으로 하였으며 매 배치마다 SRM 분석을 수행하여 그 결과가 허용 범위 내에 든 것을 확인 후 검사에 임하며 검체 40-50개마다 표준 참고 물질을 배치하여 지속적인 분석능을 유지하였다. 특히 혈중 수은의 경우 검체 10개마다 표준 참고 물질을 분석함으로써 분석 배치내(inter-batch), 분석 배치간(Intra-batch) 정밀성과 재현성을 확인하였다. SRM 955c level 2를 사용하여 혈중 납과 수은, 카드뮴에 대한 정도관리를 수행한 결과 대상물질 모두 기준치 허용 범위 내의 분석값을 얻었으며 분석방법의 재현성을 확인하고 분석결과의 신뢰도를 높이기 위해 배치당 1개 이상의 동일 분석시료(duplicate)를 분석한 결과 정확도가 10% 이내의 값을 얻음으로써 분석 방법 및 분석 결과에 대한 유효성을 검증하였다. 외적 정도 관리는 저농도 화학물질 측정의 표준 프로토콜인 독일 Friedrich-Alexander-University에서 주관하는 G-EQUAS(German External Quality Assessment Scheme)를 수행한 결과 또한 모두 기준 허용 범위를 만족하였다.

4. 통계분석

혈중 납, 수은, 카드뮴 농도는 상용로그로 변환하여 분석에 이용하였다. 어린이의 혈중 중금속 농도의 분포는 기술통계분석을 시행하였고, 어린이의 월령을 36-59개월 집단과 60-83개월 집단으로 구분하여 월령 집단에 따른 중금속 농도의 분포를 제시하였다. 어린이의 기본 특성과 식이, 사회경제적 요인, 환경요인에 따른 혈중 중금속 농도의 차이를 분석하기 위해 t-test와 ANOVA 분석을 시행하였다. 다중 회귀분석은 공변수들의 특성을 고려하여 3가지 모형으로 분석하였다. 모형 1은 어린이의 기본 특성과 식이 변수를 분석 모형에 포함하였고, 모형 2는 어린이의 기본 특성과 식이, 사회경제적 요인, 환경 요인 중 실내 노출 변수에 해당하는 주 양육 장소와 아버지의 흡연 상태, 실내의 흡연 노출 변수를 분석 모형에 포함하였다. 모형 3은 어린이의 기본 특성과 식이, 사회경제적 요인, 환경 요인 변수를 분석 모

형에 포함하여 아동의 노출 관련 요인에 따른 혈 중 중금속 농도의 변화를 확인하였다. 모든 통계분석은 SAS 9.2(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하였다.

III. 결 과

1. 연구참여자의 일반적 특성

본 연구의 참여자는 총 512명으로 남아의 비율(51.4%)이 더 높았다. 참여자의 평균 연령은 58.5±12.1 개월이었으며 참여자의 출생시 체중은 평균 3.2±0.5 kg, 엄마의 연령은 34.5±3.8세이었다. 분만방법에 대해 자연분만한 비율이 61.6%로 제왕절개한 비율(38.4%)보다 높았으며, 남아의 제왕절개한 비율이 40.8%로 여아(35.9%)보다 높았다. 취학전 어린이의 식이에 대한 요인으로 식품을 통한 일별 납 섭취량은 8.1±5.2 µg, 일별 수은 섭취량은 2.6±1.4 µg, 일별 카드뮴 섭취량은 5.2±2.4 µg 이었다. 사회경제적 요인으로 부모의 교육수준은 고등학교 이하인 어머니의 비율이 34.1%로 아버지의 비율(29.9%)보다 높았고, 대학원 이상인 어머니의 비율은 3.9%로 아버지의 비율(6.5%)보다 낮았다. 그리고 주거지역은 농촌 지역(38.4%)보다 도시지역(61.6%)에서 거주하는 비율이 높았다. 실내 환경 요인으로 아버지의 흡연 상태는 현재 흡연 중인 경우가 48.2%, 피웠으나 지금은 끊은 경우가 25.5%, 피운 적이 없는 경우가 26.3%로 현재 흡연 중인 경우가 가장 높았고, 취학전 어린이가 실내에서 담배연기에 노출되는 경우는 22.2%이었다. 실외 환경 요인으로 거주지 주변에 공장이 있는 경우는 13.4%, 거주지 주변에 버스나 택시 회사 및 중점이 있는 경우는 37.1%이었다(Table 1).

2. 혈중 중금속 농도의 분포

혈중 납 농도 기하 평균은 1.45±1.58 µg/dL이었고, 혈중 수은 농도 기하 평균은 2.14±1.74 µg/L이었다. 남아의 혈중 납 농도는 1.48±1.58 µg/dL로 여아(1.45±1.58 µg/dL)보다 높았던 반면, 혈중 수은 농도는 2.04±1.78 µg/L로 여아(2.19±1.66 µg/L)보다 낮았다. 전체 참여자 중에서 혈중 수은 농도가 미국환경보호청(EPA) 기준인 5.8 µg/L를 초과하는 비율은 2.34%였다. 혈중 카드뮴 농도 기하 평균은 0.23±1.91 µg/L로 남아(0.23±1.86 µg/L)와 여아(0.23±2.00 µg/L)에서

Table 1. General characteristics of subjects

Variables	N(%, Mean±SD)			Total	
	Male	Female	P		
<u>Gender</u>	263(51.4)	249(48.6)		512(100.0)	
<u>Age(month)</u>	58.1±12.1	58.9±12.0	0.443	58.5±12.1	
<u>Birth weight(kg)</u>	3.3±0.5	3.2±0.5	0.012	3.2±0.5	
<u>Mother age(year)</u>	34.3±3.6	34.6±3.9	0.382	34.5±3.8	
Basic characteristic	<u>Birth order</u>				
	1st	123(49.4)	118(49.8)	1.000	241(49.6)
	over 2nd	126(50.6)	119(50.2)		245(50.4)
	<u>Delivery method</u>				
	Natural childbirth	154(59.2)	159(64.1)	0.299	313(61.6)
Cesarean section	106(40.8)	89(35.9)		195(38.4)	
Dietary	<u>Daily metal intake**</u>				
	Dietary Pb(ug/day)	8.2±5.6	8.0±4.8	0.011	8.1±5.2
	Dietary Hg(ug/day)	2.6±1.4	2.6±1.5	0.139	2.6±1.4
	Dietary Cd(ug/day)	5.2±2.3	5.3±2.5	0.162	5.2±2.4
Social economic factor	<u>Paternal education</u>				
	≤ High school	78(29.8)	75(30.1)	0.996	153(29.9)
	College≤ ≤University	167(63.7)	158(63.5)		325(63.6)
	Graduate school≤	17(6.5)	16(6.4)		33(6.5)
	<u>Maternal education</u>				
	≤ High school	95(36.1)	79(31.9)	0.385	174(34.1)
	College≤ ≤University	156(59.3)	161(64.9)		317(62.0)
	Graduate school≤	12(4.6)	8(3.2)		20(3.9)
	<u>Income(10,000 won)*</u>				
	T1 (<62.5)	77(31.1)	76(33.5)	0.271	153(32.2)
	T2 (62.5 – 87.5)	65(26.2)	70(30.8)		135(28.4)
	T3 (87.5<=)	106(42.7)	81(35.7)		187(39.4)
	Total	248(79.7±36.6)	227(75.5±38.4)	0.228	475(77.7±37.5)
<u>Residence area</u>					
Rural	91(34.7)	105(42.3)	0.094	196(38.4)	
Urban	171(65.3)	143(57.7)		314(61.6)	
Indoor environment	<u>Nurture place</u>				
	Home	201(83.1)	187(83.9)	0.915	388(83.4)
	Nursery	41(16.9)	36(16.1)		77(16.6)
	<u>Paternal smoking status</u>				
	Never	68(26.1)	66(26.5)	0.716	134(26.3)
	Former	63(24.1)	67(26.9)		130(25.5)
	Current	130(49.8)	116(46.6)		246(48.2)
	<u>Smoking exposure in indoor</u>				
	No	203(78.4)	190(77.2)	0.840	393(77.8)
	Yes	56(21.6)	56(22.8)		112(22.2)

Table 1. Continued

Variables	N(%), Mean±SD			Total
	Male	Female	P	
<u>Factory near residence</u>				
No	164(84.1)	158(89.3)	0.192	322(86.6)
Outdoor environment	31(15.9)	19(10.7)		50(13.4)
<u>Bus garage near residence</u>				
No	127(64.8)	112(60.9)	0.493	239(62.9)
Yes	69(35.2)	72(39.1)		141(37.1)

Note. SD: Standard deviation

*Income: Monthly income of households/family number

**Daily metal intake: calculation by apply to intake for 24hours and heavy metal median in food

Table 2. Distribution of blood heavy metal concentration

	N	GM	SD	Median	Min	MAX
<u>Lead(µg/dL)</u>						
Sex						
Male	263	1.48	1.58	1.51	0.14	3.89
Female	249	1.45	1.58	1.48	0.14	5.89
Age(month)						
36-59	262	1.45	1.62	1.51	0.14	5.89
60-83	250	1.48	1.51	1.48	0.14	4.57
Total	512	1.45	1.58	1.51	0.14	5.89
<u>Mercury(µg/L)</u>						
Sex						
Male	263	2.04	1.78	2.04	0.14	9.55
Female	249	2.19	1.66	2.19	0.14	9.33
Age(month)						
36-59	262	2.19	1.78	2.19	0.14	9.55
60-83	250	2.09	1.66	2.09	0.14	7.08
Total	512	2.14	1.74	2.14	0.14	9.55
<u>Cadmium(µg/L)</u>						
Sex						
Male	263	0.23	1.86	0.23	0.07	1.12
Female	249	0.23	2.00	0.24	0.07	2.24
Age(month)						
36-59	262	0.22	1.95	0.23	0.07	2.24
60-83	250	0.25	1.91	0.25	0.07	1.58
Total	512	0.23	1.91	0.24	0.07	2.24

Note. GM: Geometric Mean, SD: Standard deviation

비슷하였다.

월령의 범위를 36-59개월 그룹과 60-83개월 그룹

으로 구분하여 혈중 중금속 농도를 확인하였다. 혈중 납 농도 기하 평균은 36-59개월 그룹에서 1.45±1.62 µg/dL로 60-83개월 그룹(1.48±1.51 µg/dL)에서 더 높았던 반면, 혈중 수은 농도 기하 평균은 36-59개월 그룹에서 2.19±1.78 µg/L로 60-83개월 그룹(2.09±1.66 µg/L)이 더 낮았다. 혈중 카드뮴 농도 기하 평균은 36-59개월 그룹에서 0.22±1.95 µg/L로 60-83개월 그룹(0.25±1.91 µg/L)에서 더 높았다(Table 2).

3. 단변량 분석

연구참여자의 일반적 특성에 따른 혈중 중금속 농도를 비교한 결과, 혈중 납 농도는 아버지의 현재 흡연 중인 경우에 1.51±1.55 µg/dL로 이전에 피웠으나 지금은 끊은 경우인 1.45±1.41 µg/dL와 피운 적이 없는 경우인 1.35±1.74 µg/dL 보다 유의하게 더 높았다(p=0.043). 거주 지역이 농촌인 경우(1.41±1.74 µg/dL)보다 도시인 경우에 혈중 납 농도가 1.48±1.45 µg/dL로 더 높았고, 거주지 근처에 공장이 없는 경우(1.45±1.62 µg/dL)보다 공장이 있는 경우에 혈중 납 농도가 1.55±1.41 µg/dL로 더 높았으나 유의한 차이는 없었다. 그리고 거주지 근처에 버스나 택시 종점이 없는 경우(1.41 ±1.62 µg/dL)보다 버스나 택시 종점이 있는 경우에 혈중 납 농도가 1.48±1.51 µg/dL로 더 높았으나 유의하지 않았다.

혈중 수은 농도는 주 양육장소가 어린이집인 경우에 2.40±1.51 µg/L로 집인 경우 (2.09±1.78 µg/L)보다 유의하게 더 높았고(p=0.012), 거주지 근처에 버스나 택시 종점이 없는 경우(1.95±1.86 µg/L)보다 버스나 택시 종점이 있는 경우에 혈중 수은 농도는

Table 3. Blood heavy metal concentration according to related factors

Variables	N	Lead(µg/dL)		Mercury(µg/L)		Cadmium(µg/L)		
		GM (GSD)	P	GM (GSD)	P	GM (GSD)	P	
Basic characteristic								
Birth order								
1st	241	1.45 1.55	0.584	2.14 1.66	0.653	0.23 1.91	0.463	
Over 2nd	245	1.48 1.62		2.09 1.82		0.23 1.91		
Delivery method								
Natural childbirth	313	1.45 1.51	0.890	2.09 1.78	0.214	0.23 1.86	0.671	
Cesarean section	195	1.45 1.66		2.24 1.66		0.23 1.95		
Social economic factor								
Paternal education								
High school	153	1.38 1.78	0.082	2.19 1.58	0.588	0.24 2.00	0.517	
College University	325	1.48 1.48		2.09 1.78		0.22 1.86		
Graduate school	33	1.66 1.38		2.29 1.78		0.24 2.04		
Maternal education								
High school	174	1.38 1.78	0.167	2.24 1.62	0.058	0.24 2.00	0.568	
College University	317	1.48 1.45		2.09 1.74		0.23 1.86		
Graduate school	20	1.62 1.55		1.70 2.29		0.20 1.74		
Income								
T1 (<62.5)	153	1.38 1.78	0.245	2.09 1.82	0.395	0.25 1.86	0.054	
T2 (62.5 – 87.5)	135	1.51 1.48		2.19 1.62		0.21 2.00		
T3 (87.5<=)	187	1.48 1.48		2.00 1.74		0.22 1.86		
Residence area								
Rural	196	1.41 1.74	0.148	2.14 1.62	0.710	0.25 1.86	0.017	
Urban	314	1.48 1.45		2.09 1.78		0.22 1.95		
Indoor environment								
Nurture place								
Home	388	1.45 1.55	0.731	2.09 1.78	0.012	0.23 1.95	0.219	
Nursery	77	1.41 1.74		2.40 1.51		0.25 1.78		
Paternal smoking status								

Table 3. Continued

Variables	N	Lead($\mu\text{g}/\text{dL}$)		Mercury($\mu\text{g}/\text{L}$)		Cadmium($\mu\text{g}/\text{L}$)	
		GM (GSD)	P	GM (GSD)	P	GM (GSD)	P
Indoor environment	Never	1.35	0.043	2.04	0.339	0.24	0.667
		1.74		1.78		1.86	
	Former	1.45		2.04		0.23	
		1.41		1.82		1.86	
	Current	1.51		2.19		0.23	
		1.55		1.66		1.95	
Smoking exposure in indoor							
No	393	1.48	0.591	2.09	0.142	0.23	0.603
		1.51		1.78		1.91	
Yes	112	1.45		2.24		0.22	
		1.58		1.62		1.86	
Factory near residence							
No	322	1.45	0.104	2.09	0.751	0.22	0.986
		1.62		1.82		1.91	
Yes	50	1.55		2.14		0.22	
		1.41		1.70		2.04	
Bus garage near residence							
No	239	1.41	0.389	1.95	0.001	0.20	0.001
		1.62		1.86		1.91	
Yes	141	1.48		2.34		0.26	
		1.51		1.62		1.95	

Note. GM: Geometric Mean, GSD: Geometric standard deviation

$2.34 \pm 1.62 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 유의하게 더 높았다($p=0.001$). 실내에서 흡연 노출이 없는 경우($2.09 \pm 1.78 \mu\text{g}/\text{L}$)보다 흡연 노출이 있는 경우에 혈중 수은 농도가 $2.24 \pm 1.62 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 더 높았으나 유의하지 않았다.

혈중 카드뮴 농도는 거주 지역이 도시인 경우($0.22 \pm 1.95 \mu\text{g}/\text{L}$)보다 농촌인 경우에 $0.25 \pm 1.86 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 유의하게 더 높았고($p=0.017$), 거주지 근처에 버스나 택시 종점이 없는 경우($0.20 \pm 1.91 \mu\text{g}/\text{L}$)보다 버스나 택시 종점이 있는 경우에 혈중 카드뮴 농도가 $0.26 \pm 1.95 \mu\text{g}/\text{L}$ 로 유의하게 더 높았다($p=0.001$) (Table 3).

4. 다변량 분석

Table 4는 다중회귀분석을 통해 각 중금속의 혈중 농도와 공변수의 관련성을 분석한 것이다. 모형 1은 어린이의 기본 특성과 식이요인을 포함한 모형이다. 모형 2는 모형 1에 사회경제적 요인과 실내 환경요

인을 추가하였고, 모형 3은 모형 2에 실외 환경요인을 추가한 것이다.

혈중 납 농도는 모형 1에서 어린이의 기본 특성과 식이 변수를 분석 모형에 포함한 결과, 출생시 체중이 증가할수록 1.160배($p=0.003$), 엄마 연령이 증가할수록 0.985배로 나타났다($p=0.036$). 모형 2에서는 어린이의 기본 특성과 식이, 사회경제적 요인, 환경 요인 중 실내 노출 변수에 해당하는 주 양육 장소와 아버지의 흡연 상태, 실내의 흡연 노출 변수를 분석 모형에 포함한 결과, 출생시 체중이 증가할수록 1.250배($p<.001$), 엄마 연령이 증가할수록 0.983배($p=0.027$), 분만방법이 자연분만에 비해 제왕절개인 경우에 1.123배로 나타났다($p=0.031$). 그리고 아버지의 교육수준이 고등학교 이하에 비해 대학원 이상인 경우에 1.373배($p=0.012$), 아버지의 흡연 상태가 피운 적이 없는 경우에 비해 피웠으나 지금은 끊은 경우에 1.266배($p=0.001$), 피운 적이 없는 경우

Table 4. Multiple regression analysis about related factors with the blood heavy metal concentration.

Variables	Lead(β /dL)						Mercury(β /L)						Cadmium(β /L)					
	model1		model2		model3		model1		model2		model3		model1		model2		model3	
	10 ^(β)	P	10 ^(β)	P	10 ^(β)	P	10 ^(β)	P	10 ^(β)	P	10 ^(β)	P	10 ^(β)	P	10 ^(β)	P	10 ^(β)	P
Gender	1.016	0.747	1.020	0.702	0.975	0.672	1.129	0.060	1.176	0.017	1.143	0.129	0.923	0.301	0.948	0.514	0.839	0.072
Age(month)	1.057	0.266	1.039	0.468	1.054	0.397	0.964	0.572	0.971	0.670	0.919	0.346	1.044	0.588	1.065	0.461	1.002	0.982
Birth weight	1.160	0.003	1.250	<0.001	1.162	0.028	0.896	0.088	0.916	0.210	0.884	0.213	0.975	0.751	0.994	0.948	0.897	0.320
Maternal age(year)	0.985	0.036	0.983	0.027	0.987	0.135	0.995	0.599	0.997	0.729	1.001	0.951	1.015	0.196	1.021	0.096	1.032	0.028
Birth order	1.085	0.106	1.110	0.050	1.129	0.051	0.931	0.282	0.934	0.337	0.886	0.175	0.974	0.746	0.956	0.607	1.013	0.900
Delivery method	1.049	0.341	1.123	0.031	1.040	0.541	1.072	0.291	1.027	0.708	1.055	0.561	0.957	0.587	0.943	0.505	0.894	0.273
Dietary	1.002	0.706	1.004	0.390	0.999	0.927	1.084	0.000	1.079	0.001	1.082	0.004	1.028	0.085	1.033	0.060	1.031	0.134
Paternal education																		
≤ High school	reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference	
College ≤ ≤ University	1.005	0.939	0.979	0.782			1.035	0.701	1.024	0.835			1.060	0.591	0.914	0.467		
Graduate school ≤	1.373	0.012	1.220	0.147			1.305	0.112	1.261	0.243			1.175	0.432	0.975	0.909		
Maternal education																		
≤ High school	reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference	
College ≤ ≤ University	1.068	0.308	1.125	0.120			0.834	0.035	0.804	0.048			0.880	0.226	0.973	0.821		
Graduate school ≤	1.275	0.136	1.172	0.363			0.529	0.004	0.552	0.021			0.662	0.123	0.701	0.206		
Income																		
T1 (<62.5)	reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference	
T2 (62.5 – 87.5)	0.999	0.990	0.993	0.930			1.076	0.399	1.061	0.596			0.847	0.117	0.802	0.075		
T3 (87.5≤)	0.922	0.191	0.960	0.567			0.971	0.726	1.018	0.865			0.853	0.118	0.858	0.182		
Residence area	1.024	0.679	1.107	0.149			1.141	0.084	1.153	0.164			0.997	0.977	0.991	0.936		
Nurture place	1.059	0.424	1.017	0.846			1.142	0.167	1.196	0.155			1.015	0.899	1.036	0.799		
Paternal smoking status																		
Never	reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference		reference	
Former	1.266	0.001	1.215	0.023			1.006	0.952	1.007	0.954			1.092	0.446	1.052	0.711		
Current	1.266	0.000	1.226	0.008			1.048	0.586	1.044	0.699			0.956	0.667	0.939	0.601		
Smoking exposure in indoor	0.980	0.753	1.011	0.880			0.982	0.825	0.950	0.633			0.957	0.669	0.863	0.216		
Factory near residence			1.041	0.684					1.087	0.562					0.944	0.715		
Bus garage near residence			1.109	0.100					1.161	0.103					1.330	0.005		

Note. β : logarithm converted the estimated regression coefficient

에 비해 현재 흡연 중인 경우에 1.266배로 나타났다($p=0.000$). 모형 3에서는 어린이의 기본 특성과 식이, 사회경제적 요인, 환경 요인 변수를 분석 모형에 포함한 결과, 출생시 체중이 증가할수록 1.162배($p=0.028$), 아버지의 흡연 상태가 피운 적이 없는 경우에 비해 피웠으나 지금은 끊은 경우에 1.215배($p=0.023$), 피운 적이 없는 경우에 비해 현재 흡연 중인 경우에 1.226배로 유의하였다($p=0.008$).

혈중 수은 농도는 모형 1에서 식품을 통한 수은 섭취량이 증가할수록 1.084배로 나타났고($p=0.000$), 모형 2에서 남아에 비해 여아인 경우에 1.176배($p=0.017$), 식품을 통한 수은 섭취량이 증가할수록 1.079배로 나타났으며($p=0.001$), 어머니의 교육수준이 고등학교 이하에 비해 기술(전문)학교 졸업 이상-대학교 재학 중 또는 졸업 이하인 경우에 0.834배($p=0.035$), 고등학교 이하에 비해 대학원 재학 이상인 경우에 0.529배로 나타났고($p=0.004$). 모형 3에서 식품을 통한 수은 섭취량이 증가할수록 1.082배($p=0.004$), 어머니의 교육수준이 고등학교 이하에 비해 기술(전문)학교 졸업 이상-대학교 재학 중 또는 졸업 이하인 경우에 0.804배($p=0.048$), 고등학교 이하에 비해 대학원 재학 이상인 경우에 0.552배로 유의하였다($p=0.021$).

혈중 카드뮴 농도는 모형 3에서 엄마 연령이 증가할수록 1.032배($p=0.028$), 거주지 근처에 버스나 택시 종점이 없는 경우에 비해 있는 경우에 1.330배로 유의하였다($p=0.005$)(Table 4).

IV. 고 찰

이 연구는 전국을 포괄하는 연구참여자를 통해 국내 취학 전 3-7세 어린이의 혈중 중금속 노출수준(납, 수은, 카드뮴)을 분석하고 이에 영향을 주는 관련요인을 탐색하고자 수행하였다.

이 연구의 혈중 평균 납 농도는 $1.45 \pm 1.58 \mu\text{g/dL}$ 로 나타났으며, 36-59개월 그룹은 $1.45 \pm 1.62 \mu\text{g/dL}$, 60-83개월 그룹은 $1.48 \pm 1.51 \mu\text{g/dL}$ 이었다. 미국의 국민건강영양조사(National Health and Nutrition Examination Survey, 2009-2010)를 통한 1-5세 어린이의 혈중 납 농도는 $1.17 \mu\text{g/dL}$ 이었고 6-11세 어린이의 혈중 납 농도는 $0.838 \mu\text{g/dL}$ 로²⁴⁾ 본 연구의 혈중 납 농도보다 낮은 수준이었다. 또한 캐나다의 국

민건강측정조사(Canadian Health Measures Survey, 2009-2011)를 통한 3-5세 어린이의 혈중 납 농도는 $0.93 \mu\text{g/dL}$ 으로²⁵⁾ 본 연구의 혈중 납 농도보다 낮았으나, 독일환경조사(German Environmental Survey)를 통해 3-5세 어린이의 혈중 납 농도는 $1.91 \mu\text{g/dL}$, 6-8세 어린이의 혈중 납 농도는 $1.73 \mu\text{g/dL}$ 로²⁶⁾ 본 연구의 혈중 납 농도보다 높았다. Wang and Zhang의 연구⁹⁾에서 중국 19개 도시의 3-5세 어린이의 혈중 납 농도(median)는 $3.5\text{-}13.4 \mu\text{g/dL}$ 범위였고, Lin 등의 연구¹⁶⁾에서 중국 시골지역의 광산과 제련소 주변에 거주하는 생후 2개월에서 14세에 해당하는 어린이의 혈중 납 농도는 오염된 지역에서 $16.38 \mu\text{g/dL}$, 대조군 지역에서 $7.12 \mu\text{g/dL}$ 으로 본 연구의 혈중 납 농도보다 매우 높았다. 국내에서 수행된 영유아 대상 연구(MOCEH, MOthers and Child Environmental Health)에서 혈중 납 농도는 영유아 36개월은 $1.44 \mu\text{g/dL}$, 60개월은 $1.35 \mu\text{g/dL}$ 이었고,²⁷⁾ 초등학교 대상 연구(CHEER, Children's health and environment research)에서 혈중 납 농도는 $1.57 \mu\text{g/dL}$ 로²⁸⁾ 본 연구의 혈중 납 농도와 비슷한 수준이었다. Min 등의 연구²⁹⁾에서 서울지역의 5-13세에 해당하는 어린이의 혈중 납 농도는 $2.4 \mu\text{g/dL}$ 로 본 연구의 혈중 납 농도보다 다소 높은 수준이었다.

이 연구참여자의 혈중 평균 수은 농도는 $2.14 \pm 1.74 \mu\text{g/L}$ 로 나타났으며, 36-59개월 그룹은 $2.19 \pm 1.78 \mu\text{g/L}$, 60-83개월 그룹은 $2.09 \pm 1.66 \mu\text{g/L}$ 이었다. 반면 미국의 국민건강영양조사(NHANES, 2009-2010)를 통한 1-5세 어린이의 혈중 수은 농도는 검출 한계 수치보다 낮은 수준이었다.²⁴⁾ 또한 독일의 환경조사(German environmental survey)를 통해 3-5세 어린이의 수은 농도는 $0.21 \mu\text{g/L}$ 이었고, 6-8세 어린이의 수은 농도는 $0.23 \mu\text{g/L}$ 로²⁶⁾ 본 연구의 혈중 수은 농도보다 매우 낮은 수준이었다. 국내에서 수행된 영유아 대상 연구(MOCEH)에서 혈중 수은 농도는 영유아 36개월은 $2.08 \mu\text{g/L}$, 60개월은 $1.69 \mu\text{g/L}$ 이었고,²⁷⁾ 초등학교 대상 연구(CHEER)에서 혈중 수은 농도는 $1.95 \mu\text{g/L}$ 로 보고하였다.²⁸⁾ 본 연구 결과와 비교하여, 국내에서 조사된 어린이의 혈중 수은 농도는 비슷한 수준이었으나 국외에서 조사된 어린이의 혈중 수은 농도는 국내 아동의 혈중 수은 농도 보다 매우 낮았다.

이 연구에서 혈중 평균 카드뮴 농도는 $0.23 \pm 1.91 \mu\text{g/L}$ 로 나타났으며, 36-59개월 그룹은 $0.22 \pm 1.95 \mu\text{g/L}$,

Table 5. Factors related with the heavy metal concentrations in blood

Heavy metal	Period	Study population	Related factor	Reference
Lead	1992-1998	318 Children aged 6-84 months	Environmental tobacco smoke(ETS)	Lutz et al. (2012) ¹³⁾
	March 1998	212 Children aged 3 years	paternal smoking indoors	Friedman et al. (2005) ²⁶⁾
	Fall 2004-Spring 2005	1344 Children aged 3-5 years	Mother's lower education, father's occupation(as professional worker), parental smoking at home	Liu et al. (2012) ²⁷⁾
	2003-2006	200 Children aged 3-12 years	Low socioeconomic status, proximity of home to traffic density, mother's illiteracy	Ahamed et al. (2010) ¹⁴⁾
	2007	379 Children aged 2 months to 14 years	Length of residence, milk consumption, parents' education	Lin et al. (2011) ¹⁶⁾
	1988-1994	3,325 youth aged 1-17 years	Gender, age, generational status, home language, family income, education of head of household, age of housing, source of drinking water	Moralez et al. (2005) ¹⁵⁾
	May 2006-June 2006	154 Children aged 1-7 years	Residence area (e-waste recycling town)	Zheng et al. (2008) ¹⁷⁾
	2003-2010	477 Children aged less than 20 years	Distance from the industrial area to the residence	Heo et al. (2012) ²⁹⁾
	1999-2000	1240 Women aged 16-49 years	Dietary fish intake	Vupputuri et al. (2005) ⁶⁾
	May 2004-February 2006	544 newborns	Fish consumption during pregnancy	Ramn et al. (2009) ³⁰⁾
Mercury	May 2002/September 2002	235 Adults aged 20-73 years	Smoking, Alcohol	Ho et al. (2006) ³²⁾
	1989-1990(enroll)/ When the children age were 9 years(follow up)	779 mother-infant pair, when the children were 6 months old(enroll)/ development assessment in 717 children at age 9 years(follow up)	Ocean fish consumption	Myers et al. (2003) ¹⁸⁾
	August 1995-May 1996	118 Women who gave birth aged 20-41 years	Number of surfaces with amalgam (in breast milk)	Drexler and Schaller (1998) ³¹⁾
	May 2006-June 2006	154 Children aged 1-7 years	Residence area (e-waste recycling town)	Zheng et al. (2008) ¹⁷⁾
Cadmium	July 2007-August 2007	150 Adults	Rural	Kim et al. (2009) ³⁴⁾
	2003-2010	477 Children aged less than 20 years	Distance from the industrial area to the residence (in urine)	Heo et al. (2012) ²⁹⁾

60-83개월 그룹은 0.25±1.91 µg/L 이었다. 국내에서 수행된 영유아 대상 연구(MOCEH)에서 혈중 카드뮴 농도는 영유아 36개월은 0.89 µg/L, 60개월은

0.88 µg/L로²⁷⁾ 본 연구의 혈중 카드뮴 농도보다 3배 이상 높았다. 반면 미국의 국민건강영양조사(NHANES, 2009-2010)를 통한 어린이의 혈중 카드뮴 농도는 김

출 한계 수치보다 낮았고,²⁴⁾ 독일의 환경조사(German environmental survey)를 통한 3-8세 어린이의 혈중 카드뮴 농도도 검출 한계 수치보다 낮은 수준이었다.²⁶⁾ 국내에서 조사된 어린이의 혈중 카드뮴 농도는 국외에서 조사된 어린이의 혈중 카드뮴 농도보다 높은 수준이었다.

Table 5는 혈중 중금속과 관련된 요인들에 대해 국내외에서 수행된 연구 결과들을 요약한 것이다. 어린이의 혈중 중금속 농도의 차이와 변화를 주는 관련 요인에 대하여 본 연구의 혈중 납 농도 증가는 아버지의 흡연 상태와 관련이 있었다. 이러한 결과는 Lutz 등의 연구¹³⁾에서 6-84개월 미만의 어린이를 대상으로 간접흡연 노출이 혈중 납 농도와 유의한 관련이 있음을 보고한 결과와 일치하였고, Friedman 등의 연구³⁰⁾에서도 가정에서 아버지의 흡연이 어린이의 혈중 납 농도와 유의한 관련이 있음을 보고한 것과 일치하였다. 3-5세 어린이를 대상으로 한 The China Jintan Child Cohort Study³¹⁾에서 어머니의 낮은 교육수준, 아버지의 직업, 그리고 가정에서의 아버지 흡연은 혈중 납 농도 증가와 관련이 있었고, 스페인 마드리드에서 수행된 제대혈에서의 혈중 납과 출생 시 특성과의 관련성을 살펴본 연구에서 임신 중 흡연했던 엄마로부터 출생한 신생아의 제대혈 납 농도가 그렇지 않은 산모의 신생아보다 높은 것을 확인하였다.³²⁾ 간접흡연 외에 어린이의 혈중 납 농도 증가와 관련된 다른 요인에 대한 연구들을 살펴보면, India의 Lucknow에서 수행된 3-12세 어린이 연구에서 낮은 사회경제적 지위(SES), 거주지 1km 이내 고속도로가 있는 경우, 어머니의 문맹은 혈중 납 농도를 증가시킨다고 보고하였고,¹⁴⁾ Lin 등의 연구¹⁶⁾에서도 거주기간, 모유 섭취, 부모의 교육 수준은 어린이의 혈중 납 농도 증가와 관련이 있음을 보고하였다. 또한 Moralez 등¹⁵⁾은 1-17세 청소년에서 성별, 연령, 부모와 자녀의 출생 지역, 집에서 사용하는 언어, 가정의 낮은 수입과 교육수준, 오래된 집의 건물연수, 음용수의 종류는 혈중 납 농도 증가와 관련이 있었다고 보고하였고, Zheng 등¹⁷⁾은 폐기물 재순환 공업 지역에 사는 어린이들이 의류 제조 산업 지역에 사는 어린이들 보다 혈중 납 농도가 유의하게 높았다고 보고하였다. 국내 연구로는 20세 미만 대상자에서 거주지와 산업 단지와의 거리가 멀어질수록 혈중 납 농도가 유의하게 증가하였다고 보고하였

는데, 납은 생활주변의 광범위한 노출원으로 인해 생활환경의 위치에 관계없이 다양한 노출원으로부터 노출이 가능하다고 보고하였다.³³⁾ 이 연구에서 아버지의 흡연 상태가 어린이의 혈중 납 농도를 증가시키는 주요한 요인임을 확인하였다.

이 연구를 통해 혈중 수은 농도 증가는 어머니의 교육수준과 식품을 통한 수은 섭취와 관련이 있는 것으로 확인되었다. 혈중 수은을 증가시키는 요인으로 많은 연구들이 생선 섭취로 인한 노출을 보고하였고,^{6,34)} 모유에서의 수은 농도와 치아 아말감 개수와의 관련성을 보고한 연구도 있다.³⁵⁾ 수은은 다양한 경로로 노출되지만, 일반인들의 혈중 수은 농도에 가장 영향을 많이 미치는 것은 개인의 생활습관으로 혈중 수은 농도는 흡연력, 음주력에 영향을 받는다.³⁶⁾ 또한 일반 인구 집단에서 메틸수은의 주된 노출 경로인 어패류 섭취는 체내에 축적되는 경향이 있기 때문에 어패류 섭취 형태에 따라 체내 수은 축적량에 영향을 줄 수 있다.^{18,37)} 본 연구의 혈중 수은 농도 관련 요인 중에 식품을 통한 수은 섭취는 생선 섭취를 수은의 주요 노출원으로 보고한 다른 연구와 직접적인 비교는 어렵지만, 어패류 섭취가 수은 노출의 많은 비중을 차지하므로 식품을 통한 수은 노출 증가의 가능성이 있다.

혈중 카드뮴 농도 증가는 거주지 근처 종점 유무와 관련이 있었다. Zheng 등¹⁷⁾은 폐기물 재순환 공업 지역에 사는 어린이들이 의류 제조 산업 지역에 사는 어린이들 보다 혈중 카드뮴 농도가 유의하게 높았다고 하였고, 본 연구에서도 거주지 근처 공장 유무가 혈중 카드뮴 농도와 관련이 있었는데 카드뮴 노출과 관련이 있는 공장의 종류를 구분하지는 못하였다. 일반 성인을 대상으로 한 국내 연구에서 혈중 카드뮴 농도는 농촌지역 주민에서 더 높은 것으로 나타났는데, 농촌지역에서 재배하는 농작물의 종류가 많아지고 재배량이 증가함에 따라 농약이나 화학비료의 사용량이 증가하므로 카드뮴에 노출될 가능성이 높아진 것으로 추정할 수 있다고 하였다.³⁸⁾ 또한 Heo 등³³⁾은 20세 미만 대상자에서 거주지와 산업 단지와의 거리가 멀어질수록 요 중 카드뮴 농도는 유의하게 감소하는 것으로 보고하였다. 본 연구와 비교하여 혈중 카드뮴 농도 증가는 거주지 주변 환경과 관련이 있음을 보고한 다른 연구와 결과가 일치하였다.

이 연구는 전국 규모의 조사를 통해 국내 취학전 어린이의 생체 중금속 노출 수준의 현황을 제시하였다. 표본지역의 선정에는 확률적 방법을 적용하였으나, 선정 지역 내에서 연구참여자를 모집할 때는 임의표집 방법을 적용하였기 때문에 전국을 대표하는 표본조사로 보기는 어려운 한계가 있다. 그러나 기존 국내 연구가 일부 지역에 국한되었고, 국가 대표 보건통계인 국민건강영양조사에서는 아동기 중금속 측정인원이 매우 작았다. 또한 국민환경보건기초조사에서는 아동기에 대한 중금속 측정이 수행되지 못하였다. 따라서 이 연구는 517명의 전국 규모 3-7세 어린이의 혈중 중금속에 대한 기초자료로서 의의가 있다. 이 연구는 어린이의 기본 특성, 식이, 사회경제적 요인, 환경요인 등 중금속 노출에 관련한 다양한 요인을 포괄적으로 조사하였고, 다변량 분석을 통해 혈중 납 농도와 아버지의 흡연 상태, 혈중 수은과 어머니의 교육수준과 식품을 통한 섭취, 카드뮴 농도와 거주지 주변 실외 환경을 관련요인으로 확인할 수 있었다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 장기간에 걸쳐 누적된 노출이 반영된 각 요인들과 현재의 혈중 중금속 농도를 분석에서 고려하였기 때문에 시간이 흐름에 따라 변화하는 요인들에 대한 영향을 반영하지 못하였다. 그리고 단면 조사로 인해 어린이와 관련된 요인들과 혈중 중금속 농도 간의 관련성을 단면적으로 제시하였기 때문에 명확한 인과관계에 대해 직접적으로 의미 부여를 하기 어렵다. 또한 이 연구에서는 혈중 중금속 3종에 대한 어린이의 노출 현황과 관련 요인에 대한 분석을 통해 관련요인을 개괄할 수 있었으나 개별 중금속의 특성을 고려하여 보다 자세한 노출 요인에 대한 분석은 수행하지 못하였다. 향후 개별 중금속의 특성을 고려한 분석역학적 연구가 추가로 수행되어야 할 것이다.

V. 결 론

이 연구는 전국 규모의 조사를 통해 국내 3-7세 취학 전 어린이 512명의 혈중 납과 수은, 카드뮴 농도의 현황을 제시하고, 어린이의 기본 특성, 식이, 사회경제적 요인, 환경요인 등 중금속 노출에 관련한 다양한 요인의 관련성을 개괄하였다.

이 연구를 통해 국내 3-7세 취학 전 어린이의 혈중 납의 기하평균은 $1.45 \pm 1.58 \mu\text{g/dL}$ 이었고 국내외

보고된 수준과 유사하였다. 혈중 수은의 기하평균은 $2.14 \pm 1.74 \mu\text{g/L}$, 혈중 카드뮴의 기하평균은 $0.23 \pm 1.91 \mu\text{g/L}$ 로 국외 조사에 비해 높았으나 국내 연구와 유사하였다. 다중회귀분석을 통해 중금속 노출에 영향을 미치는 것으로 알려진 공변수의 관련성을 확인한 결과, 혈중 납 농도와 아버지의 흡연 상태, 혈중 수은과 어머니의 교육수준 및 식품을 통한 섭취, 카드뮴 농도와 거주지 주변 실외 환경이 유의하였다.

이 연구는 전국 규모의 대규모 역학조사를 통해 국내 취학전 3-7세 어린이의 혈중 중금속 노출 수준의 현황에 대한 기초 자료를 제공하는데 의의가 있다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 식품의약품안전청 용역연구개발과제의 연구개발비 지원(10162유해평 994)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. Wigle DT, Arbuckle TE, Turner MC, Bérubé A, Yang Q, Liu S, et al. Epidemiologic evidence of relationships between reproductive and child health outcomes and environmental chemical contaminants. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2008; 11(5-6): 373-517.
2. Nadal M, Bocio A, Schuhmacher M, Domingo JL. Trends in the levels of metals in soils and vegetation samples collected near a hazardous waste incinerator. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2005; 49: 290-298.
3. Wang H, Stuanes AO. Heavy metal pollution in air-water-soil-plant system of Zhuzhou City, Hunan Province, China. *Water Air Soil Pollut*. 2003; 147: 159-164.
4. Bellinger D, Leviton A, Allred E, Rabinowitz M. Pre- and postnatal lead exposure and behavior problems in school-aged children. *Environ Res*. 1994; 66(1): 12-30.
5. Thatcher RW, Lester ML, McAlaster R, Horst R. Effects of low levels of cadmium and lead on cognitive functioning in children. *Arch Environ Health*. 1982; 37(3): 159-166.
6. Vupputuri S, Longnecker MP, Daniels JI, Guo X, Sandler DP. Blood mercury level and blood pressure among us women: results from the National Health and Nutrition Examination Survey 1999-

2000. *Environ Res.* 2005; 97(2): 195-200.
7. Fassett DW. Metals in the environment. New York: Academic Press; 1980. p.61-100.
 8. Moya J, Bearer CF, Etzel RA. Children's behavior and physiology and how it affects exposure to environmental contaminants. *Pediatrics.* 2004; 113(4 Suppl) 996-1006.
 9. Wang S, Zhang J. Blood lead levels in children, China. *Environ Res.* 2006; 101(3): 412-418.
 10. Marques RC, Bernardi JV, Dórea JG, de Fatima R, Moreira M, Malm O. Perinatal multiple exposure to neurotoxic (lead, methylmercury, ethylmercury, and aluminum) substances and neurodevelopment at six and 24 months of age. *Environ Pollut.* 2014; 187: 130-135.
 11. Grandjean P, Budtz-Jørgensen E, Steuerwald U, Heinzow B, Needham LL, Jørgensen PJ, et al. Attenuated growth of breast-fed children exposed to increased concentrations of methylmercury and polychlorinated biphenyls. *FASEB J.* 2003; 17(6): 699-701.
 12. Kippler M, Tofail F, Hamadani JD, Gardner RM, Grantham-McGregor SM, Bottai M, et al. Effects of gestational cadmium exposure on pregnancy outcome and development in the offspring at age 4.5 years. *Biol Trace Elem Res.* 2009; 132(1-3): 51-59.
 13. Lutz PM, Kelty EA, Brown TD, Wilson TJ, Brock G, Neal RE. Environmental cigarette smoke exposure modulates IgE levels of Pb-exposed children. *Toxicology.* 2012; 291(1-3): 43-50.
 14. Ahamed M, Verma S, Kumar A, Siddiqui MK. Blood lead levels in children of Lucknow, India. *Environ Toxicol.* 2010; 25(1): 48-54.
 15. Moralez LS, Gutierrez P, Escarce JJ. Demographic and socioeconomic factors associated with blood lead levels among Mexican-American children and adolescents in the United States. *Public Health Rep.* 2005; 120(4): 448-454.
 16. Lin S, Wang X, Yu IT, Tang W, Miao J, Li J, et al. Environmental lead pollution and elevated blood lead levels among children in a rural area of China. *Am J Public Health.* 2011; 101(5): 834-841.
 17. Zheng L, Wu K, Li Y, Qi Z, Han D, Zhang B, et al. Blood lead and cadmium levels and relevant factors among children from an e-waste recycling town in China. *Environ Res.* 2008; 108(1): 15-20.
 18. Myers GJ, Davidson PW, Cox C, Shamlaye CF, Palumbo D, Cernichiari E, et al. Prenatal methylmercury exposure from ocean fish consumption in the Seychelles child development study. *Lancet.* 2003; 361(17): 1686-1692.
 19. Ministry of Food and Drug Safety. A Study on the Integrated Exposure to Hazardous Materials for Safety Control. Osong: Ministry of Food and Drug Safety Press; 2012.
 20. Kim DW, Woo HD, Joo J, Park KS, Oh SY, Kwon HJ, et al. Estimated long-term dietary exposure to lead, cadmium, and mercury in young Korean children. *Eur J Clin Nutr.* 2014; 1-4. doi: 10.1038/ejcn.2014.116.
 21. Murphy KE, Vetter T, Turk GC, Palmer CD, Lewis Jr ME, Geraghty CM, et al. Comparison of clinical methods with isotope dilution ICP-MS for the new standard reference material 955c lead in caprine blood. *J Anal At Spectrom.* 2009; 24: 1170-1178.
 22. Davis WC, Long SE. Measurements of Methylmercury, Ethylmercury, and Inorganic Mercury Species in a whole blood standard reference material: SRM 955c toxic elements in caprine blood. *J Anal At Spectrom.* 2011; 26: 431-435.
 23. Murphy KE, Long SE, Vocke RD. On the certification of cadmium at trace and ultra-trace levels in standard reference materials using ID ICP-MS. *Anal Bioanal Chem.* 2007; 387(7): 2453-2461.
 24. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables. Washington: U.S. Department of Health & Human Services Press; 2013.
 25. Health Canada. Final human health state of the science report on lead. Available: www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/dhssrl-rpececepsh/index-eng.php[accessed 8 March 2013].
 26. Becker K, Møssig-Zufika M, Conrad A, Schulz C, Seiwert M, Kolossa-Gehring M. Environmental Survey for Children 2003/06 - GerES IV-. Dessau-Roßlau: Umwelt Bundesamt Press; 2008.
 27. Ministry of Environment. National Institute of Environmental Research. Studies on Environmental Exposures and Health Effect in Pregnancy Women and Infants. Sejong: Ministry of Environment Press; 2012.
 28. National Institute of Environmental Research. Korean Environmental Health Survey for Children [VI]. Incheon: National Institute of Environmental Research Press; 2010.
 29. Min KB, Min JY, Cho SI, Kim R, Kim H, Paek D. Relationship between low blood lead levels and growth in children of white-collar civil servants in Korea. *Int J Hyg Environ Health.* 2008; 211(1-2): 82-87.

30. Friedman LS, Lukyanova OM, Kundiev YI, Shkiryak-Nizhnyk ZA, Chislovska NV, Mucha A, et al. Predictors of elevated blood lead levels among 3-year old Ukrainian children: a nested case-control study. *Environ Res.* 2005; 99(2): 235-242.
31. Liu J, Ai Y, McCauley L, Pinto-Martin J, Yan C, Shen X, et al. Blood lead levels and associated sociodemographic factors among preschool children in the South Eastern region of China. *Paediatr Perinat Epidemiol.* 2012; 26(1): 61-69.
32. García-Esquinas E, Pérez-Gómez B, Fernández-Navarro P, Fernández MA, de Paz C, Pérez-Meixeira AM, et al. Lead, mercury and cadmium in umbilical cord blood and its association with parental epidemiological variables and birth factors. *BMC Public Health.* 2013; 13: 841.
33. Heo JN, Kim HM, LEE JT. A study of the relationships between proximity to an industrial complex and blood lead levels and urinary cadmium levels. *J Environ Health Sci.* 2012; 38(2): 95-104.
34. Ramón R, Ballester F, Aguinalgalde X, Amurrio A, Vioque J, Lacasaña M, et al. Fish consumption during pregnancy, prenatal mercury exposure, and anthropometric measures at birth in a prospective mother-infant cohort study in Spain. *Am J Clin Nutr.* 2009; 90(4): 1047-1055.
35. Drexler H, Schaller KH. The mercury concentration in breast milk resulting from amalgam fillings and dietary habits. *Environ Res.* 1998; 77(2): 124-129.
36. 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.
37. Grandjean P, White RF, Weihe P, Jorgensen PJ. Neurotoxic risk caused by stable and variable exposure to methylmercury from seafood. *Ambul Pediatr.* 2003; 3(1): 18-23.
38. Kim HJ, Hong YS, Lee KE, Kim DS, Lee MJ, Yeah BJ, et al. The levels of blood lead and cadmium in urban and rural population in Korea. *J Life Sci.* 2009; 19(4): 472-478.