



Original Article

## 환경보건 취약지역에 거주하는 저소득 집단의 카드뮴 노출과 신장질환 영향

조용민<sup>1,2</sup> , 진호현<sup>3</sup> , 강지윤<sup>3</sup> , 김차훈<sup>3</sup> , 한다희<sup>1</sup> , 김수현<sup>2</sup> , 한서희<sup>2</sup> , 홍영섭<sup>4</sup> , 김기태<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>서경대학교 환경보건연구소, <sup>2</sup>서경대학교 나노화학생명공학과, <sup>3</sup>서울과학기술대학교 환경공학과, <sup>4</sup>동아대학교 의과대학 예방의학교실 및 중금속노출 환경보건센터

## Cadmium Exposure and Renal Damage in Individuals with Low Socioeconomic Status in Environmentally Vulnerable Areas

Yong Min Cho<sup>1,2</sup>, Hohyun Jin<sup>3</sup>, Jiyun Kang<sup>3</sup>, Chahun Kim<sup>3</sup>, Dahee Han<sup>1</sup>, Su Hyeon Kim<sup>2</sup>, Seohui Han<sup>2</sup>, Young-Seoub Hong<sup>4</sup>, and Ki-Tae Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Institute for Environmental Health, Seokyeong University, <sup>2</sup>Department of Nano Chemical and Biological Engineering, Seokyeong University, <sup>3</sup>Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology, <sup>4</sup>Department of Preventive Medicine and Heavy Metal Exposure Environmental Health Center, Dong-A University College of Medicine

### ABSTRACT

**Background:** Few studies have assessed exposure to chemicals in the context of environmental vulnerability with a focus on exposure among populations living in certain geographical areas.

**Objectives:** This study aimed to investigate cadmium exposure levels and kidney damage indices in environmentally and socioeconomically vulnerable populations, with further subgrouping according to economic status.

**Methods:** Four areas were selected to represent geographical vulnerability (two environmentally vulnerable populations and two socioeconomically vulnerable populations). Among them, population groups with lower socioeconomic status (SES) were separately classified. Urinary cadmium (UCd), beta<sub>2</sub>-microglobulin (β<sub>2</sub>-MG), and N-acetyl-β-D-glucosaminidase (NAG) levels were analyzed in samples from 245 residents of these four areas.

**Results:** Geometric means of concentrations of UCd (0.97~2.02 μg/g creatinine) in all selected populations (N, 245; mean age, 67.8~70.9 years old) were higher than the national reference values (0.39 for adults and 0.78 μg/g creatinine for people in their 60s). Participants with a lower SES had higher UCd and NAG concentrations than did non-low SES participants. In the lower SES group, there was a significant association between UCd and NAG concentrations; however, there was no such correlation in the non-low SES group.

**Conclusions:** Consistent with the findings of previous studies evaluating chemical exposure and associated health effects in specific populations, the findings of this study suggest that individuals with a low SES may be more vulnerable to exposure and related health effects.

**Key words:** Environmental justice, cadmium, kidney damage, socioeconomic status

Received November 16, 2022

Revised February 7, 2023

Accepted February 9, 2023

### Highlights:

- Among residents of environmentally contaminated areas and economically vulnerable areas, residents with relatively low socioeconomic levels had a high risk of exposure to cadmium and resulting health effects.
- Urinary cadmium concentrations were associated with renal impairment index only in subjects with low economic status.

### \*Corresponding author:

Department of Environmental Engineering,  
Seoul National University of Science and  
Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-  
gu, Seoul 01811, Republic of Korea  
Tel: +82-2-970-6642  
Fax: +82-2-970-5576  
E-mail: [ktkim@seoultech.ac.kr](mailto:ktkim@seoultech.ac.kr)



## I. 서론

환경보건의 관점에서 환경정의는 사회적 불평등에 따른 환경오염인자의 노출 불평등에 대한 논의로 이어진다.<sup>1)</sup> 환경오염인자 노출의 불평등은 유해시설의 입지, 지역별 소득 불균형 등과 같은 공간적 취약성을 강조하여 왔으며,<sup>2)</sup> 환경정의를 고려한 의사결정 지원 도구들도 공간적 취약성을 중심으로 데이터를 제공하고 있다.<sup>3,4)</sup> 사회경제적 취약지역에 거주하는 인구집단은 오염시설과의 근접성, 녹지 자연, 교통 등 주거 외 환경뿐만 아니라 건물의 노후화, 실내 공기오염, 화학물질, 온습도, 위생상태 등의 주거 내 환경으로 인하여 환경유해인자 노출에 보다 취약할 수 있고,<sup>5)</sup> 이와 같이 지리적 취약성을 가진 취약집단의 환경유해인자 노출이 높게 나타난다는 연구결과가 상당수 보고되고 있다.<sup>3,6-9)</sup>

여러 환경유해물질 중 카드뮴은 광산이나 제련 등 지역사회오염원 배출과 관계가 깊으므로<sup>10)</sup> 환경오염의 공간적 취약성과 관계를 가지게 되며 저소득이나 소수민족 공동체의 주거지역에서 더 높은 노출수준을 보이는 것으로 전해진다.<sup>11)</sup> 국내 연구들도 사회경제적 수준이 낮은 집단의 카드뮴 노출수준이 높은 것으로 보고한 바 있다.<sup>12,13)</sup>

환경 중 카드뮴 노출은 대표적으로 신장기능에 영향을 미칠 수 있다.<sup>14,15)</sup> 특히 카드뮴은 교육과 소득에 따른 불평등을 잘 설명해주는 환경유해물질로,<sup>16)</sup> 여러 금속 성분 중 카드뮴은 사회경제적 취약성에 따른 노출수준 차이가 높은 것으로 알려져 있다.<sup>17)</sup> 따라서 카드뮴의 노출수준이 높은 환경오염지역 주민이나 사회경제적 취약집단은 신장기능 영향의 위험도 높을 것으로 예상되나 취약집단을 대상으로 노출과 건강영향을 함께 평가한 연구는 많지 않다. 또한 환경불평등의 측면에서 환경유해물질 노출을 평가한 연구들은 대부분 지역 단위의 집단을 대상으로 노출수준을 비교하고 있으나 지역 집단 내 개인의 사회경제적 수준을 세분화하여 비교한 사례는 거의 없다.

이에, 본 연구는 다음의 두 가지 목적으로 수행되었다. 첫째는 지리적인 환경유해물질 노출 취약성을 확인하기 위하여, 환경오염 영향지역 주민들의 환경유해물질 노출수준을 파악하고 환경오염 지역은 아니지만 사회경제적 수준이 낮은 지역의 노출수준을 역시 조사하였다. 둘째는, 기존에 주로 연구된 지역 중심의 집단 관점이 아닌 집단 내 개인 관점의 노출수준과 건강영향을 평가하였다. 오염지역이나 저소득 지역에 거주하는 환경보건 취약집단 중에서도 사회경제적 수준이 상대적으로 낮은 개인들이 존재할 것이고, 이들에게 환경오염물질 노출수준과 그로 인한 건강영향의 위험이 보다 높을 수 있음을 검증하고자 한 것이다. 이를 알아보기 위한 환경오염물질은 사회경제적 취약성과 관계가 깊은 것으로 알려진 카드뮴으로 하였고, 카드뮴의 만성노출과 관련성을 가진 신장질환을 연구 대상 건강영향으로 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. Study areas and subjects

본 연구는 두 개의 환경오염 취약지역과 두 개의 사회경제적 취약지역을 선정하여 총 네 지역에 대한 조사를 수행하였다. 각 지역 주민들을 대상으로 하는 현장조사는 유사한 시점에 동일한 연구 집단에 의하여 수행되어 조사 내용과 프로토콜의 일관성을 유지하도록 하였다. 먼저, 두 개의 환경오염 취약지역은 카드뮴 노출수준이 높은 것으로 알려진 폐금속광산 지역과 제련소 지역이다.<sup>18,19)</sup> 경상남도에 위치한 폐금속광산 지역은 환경부와 국립환경과학원에서 추진하고 있는 폐금속광산 주민건강영향조사 사업에서 추적조사 대상으로 선정된 지역이다. 제련소 지역은 충청남도에 위치하고 있으며, 일제강점기부터 1990년대까지 금속 제련 공정이 이루어지고 현재는 가공산업공정이 운영되는 지역이다.

한편 사회경제적 취약지역은 도시 지역과 시골 지역을 한 개씩 선정하였다. 도시 지역은 서울시에 위치한 지역으로, 1960년대부터 철거민들이 강제 이주되면서 조성되었고, 기초생활수급자의 상당수가 이 지역에 거주하는 것으로 전해진다.<sup>20)</sup> 시골 지역은 경상남도에 속한 지역으로 임야가 대부분이며 일부 소규모 농공단지 조성된 지역으로 주로 노령 인구집단이 거주한다.

2021년 8월 말부터 11월 초에 걸쳐, 이들 지역에서 주민대표 등을 통하여 연구의 목적과 방법 등에 대한 정보를 공유하고 연구 참여에 희망하는 주민들을 모집하였다. 자필 서명을 통하여 연구참여에 동의한 대상자는 네 개 지역에서 총 245명이었다. 이들 주민들과의 협의를 통하여 적절한 날짜를 정한 후 거주지 인근 마을회관 등에서 설문조사 및 시료채취를 수행하였다. 코로나바이러스감염증(COVID-19)으로 인한 집합 금지 조치에 따라 주민들이 각자 약속된 시간에 개별로 현장을 방문하도록 하였으며, 방역 조치를 준수하여 대면 설문조사 및 시료채취 등을 실시하였다. 설문조사 및 시료의 채취는 충분한 훈련을 받은 의료인 및 연구원에 의하여 수행되었다.

대면 조사 시 나이, 거주력, 직업력, 흡연력 등에 대한 설문조사를 수행하였다. 대상자의 소득수준에 기반한 사회경제적 수준을 파악하기 위하여 대상자가 현재 기초생활수급자 또는 차상위계층에 속하는지 파악하였으며, 이들을 사회경제적 취약집단(저소득 집단, Lower socioeconomic status group - Low SES group)으로 정의하였다. 기초생활수급자 및 차상위계층 포함 여부에 대한 정보가 없는 대상자들의 경우, 총 가정 구성원의 정기적인 월수입이 평균 50만원 미만인 대상자도 저소득 집단으로 분류하였다. 이는 조사가 진행된 2021년 기준 1인 가구 생계급여 지급 금액이 548,349원임을 근거로 하였다(2023년 현재 623,368원).<sup>21)</sup>

본 연구는 연구대상자의 개인정보 획득 및 보호, 인체유래

물 채취와 분석, 보관, 조사 과정의 안전대책 등에 대하여 서울 과학기술대학교 기관윤리위원회(IRB no. 2021-0025) 및 동아대학교 의과대학 기관윤리위원회(2-1040709-AB-N-01-202105-BR-002-08)의 심의 승인을 받은 후 수행하였다.

## 2. Sampling and laboratory analysis

카드뮴 및 신장손상지표 분석을 위한 소변 시료는 일시뇨 (spot urine)로, 현장에서 대상자들에게 폴리프로필렌 재질의 채뇨통(120 mL, polypropylene container, SPL Lifesciences Co, Ltd. Gyeonggi-do, Korea)을 분배하였고 소변을 채뇨통에 담아 연구진에 전달하였다. 이를 코니컬 튜브로 옮긴 후 실험실로 이송하여 분석 전까지  $-80^{\circ}\text{C}$ 의 초저온 냉동고에 보관하였다. 분석 시에는  $37^{\circ}\text{C}$  수욕 상에서 순간 해동한 후 탁상용 믹서 (Vortex mixer)로 충분히 혼합하여 분석용 시료로 사용하였다.

소변 중 카드뮴의 분석은 국민환경보건 기초조사의 생체시료 분석 매뉴얼을 준수하였다. 소변 시료 혼합 후 부유물들을 가라앉힌 시료의 상층액 0.3 mL를 취하여 희석액(내부표준물질이 들어간 2% 질산용액) 2.4 mL와 일반 2% 질산용액 0.3 mL에 넣은 뒤 혼합기를 사용하여 섞어주었다. 공시료 및 인증 표준물질 시료와 함께 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP MS, inductively coupled plasma mass spectrometer, Agilent 7800,

Agilent, CA, US)로 분석하였다.<sup>22)</sup> 시료의 분석은 제5기 국민 환경보건 기초조사에서 소변 중 카드뮴 분석을 수행하고 있는 실험실에서 동일한 방법과 정도관리 절차에 따라 수행하였다.

소변 시료를 통한 신장손상지표로는 카드뮴 노출로 인한 신장손상의 임상적 지표로 가장 일반적으로 사용되는  $\beta_2$ -microglobulin ( $\beta_2$ -MG)와 N-acetyl- $\beta$ -D-glucosaminidase (NAG)를 분석하였다.<sup>23)</sup> 해동 후 충분히 혼합한 소변 시료를 주파장 700 nm의 자동화학분석기(Cobas 702, Roche Diagnostics System, Zug, Switzerland)에 0.5 mL의 시료를 이용하여 분석하였다. 소변 중 생체지표의 농도는 크레아티닌 보정 단위( $\mu\text{g/g creatinine}$ )를 사용하였으며 크레아티닌의 정상범위는 30~300 mg/dL로 하여, 정상범위를 벗어나는 시료는 분석에서 제외하였다.<sup>24)</sup>

## 3. Statistical analysis

크레아티닌을 보정한 소변 중 카드뮴과 신장손상지표의 농도의 정규성을 검정한 결과, 우로 치우친 분포(right skewed distribution)를 보였다. 따라서 로그로 변환한 값을 통계분석에 사용하고 기하평균을 대푯값으로 적용하였다. 이들 대푯값은 집단별로 비교하거나 우리나라 참고치인 제4기 국민환경보건 기초조사에서 공식 보고된 값과 비교하였다.<sup>25)</sup>

**Table 1.** General characteristics of study subjects of geographical vulnerable populations

Variable	N (%) / Mean $\pm$ SD				
	Rural area (N=32)	Urban shanty town (N=67)	Closed metal mine area (N=63)	Smelting area (N=83)	
Sex	Female	22 (68.8)	35 (52.2)	35 (55.6)	50 (60.2)
	Male	10 (31.2)	32 (47.8)	28 (44.4)	33 (39.8)
Age (yr)		70.4 $\pm$ 7.8	68.5 $\pm$ 11.8	67.8 $\pm$ 12.9	70.9 $\pm$ 7.9
Residential period (yr)*		28.5 $\pm$ 23.6	31.7 $\pm$ 14.5	38.6 $\pm$ 24.2	25.6 $\pm$ 23.1
Job history <sup>†</sup>	No	30 (93.8)	53 (79.1)	58 (92.1)	65 (78.3)
	Yes	2 (6.2)	14 (20.9)	5 (7.9)	18 (21.7)
Smoking	Never	23 (71.9)	43 (64.2)	45 (71.4)	54 (65.1)
	Ex	7 (21.9)	12 (17.9)	11 (17.5)	22 (26.5)
	Current	2 (6.2)	12 (17.9)	7 (11.1)	7 (8.4)
Remodeling (last 6 mo)	No	29 (90.6)	63 (94.0)	58 (92.1)	71 (85.5)
	Yes	3 (9.4)	4 (6.0)	3 (4.8)	12 (14.5)
Low SES individuals <sup>‡</sup>	No	7 (21.9)	50 (74.6)	24 (38.1)	25 (30.1)
	Yes	25 (78.1)	17 (25.4)	39 (61.9)	58 (69.9)

2 subjects answered 'I don't know' for the remodeling.

SD: standard deviation, yr: years, mo: months, SES: socioeconomic status.

\*Residential history in the current living region.

<sup>†</sup>Lifetime history in chemical industries, mines, paint manufacturing, spraying, welding, smelting, fusing, plating, printing, petrochemistry, and plastic industries, etc.

<sup>‡</sup>Individuals giving public aid recipients - basic living security received and near poor families and/or with a monthly household income of less than 500,000 KRW.

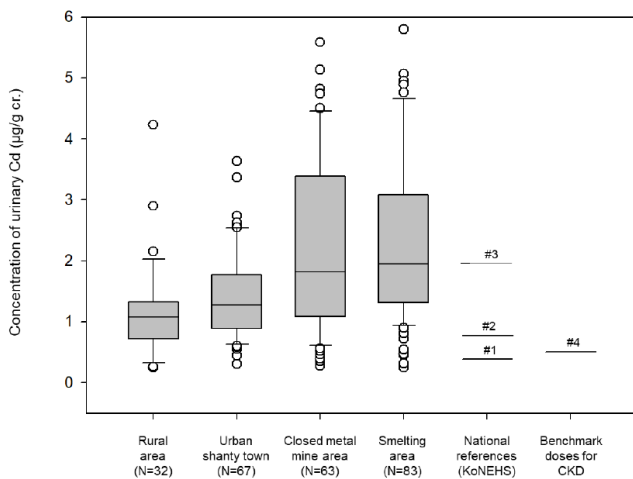
대상자들 중 저소득 집단(Low SES group)과 비저소득 집단(Non-low SES group)의 카드뮴 고노출군 해당 여부를 검정하기 위하여 카이제곱 검정(chi-square test)과 피셔의 정확 검정(Fisher's exact test)을 수행하였다. 연속형 변수(소변 중 카드뮴,  $\beta_2$ -MG, NAG 농도) 비교 시에는 Student's t-test를 수행하였으며 ANCOVA를 이용한 보정평균을 산출하였다. 아울러, 로지스틱 회귀분석을 통하여 저소득 집단 포함에 따른 소변 중 카드뮴 농도 고노출 위험(교차비)을 산출하였고, 선형회귀분석을 통하여 집단별 소변 카드뮴 농도와 신장손상지표 간의 연관성을 분석하였다. 보정변수는 이미 알려진 일반적인 변수인 성별, 연령, 거주력, 흡연, 직업력, 거주환경(리모델링 여부) 등을 적용하였다.<sup>12,26)</sup>

통계분석은 R Software (version 4.1.2; R Foundation, Vienna, Austria)를 사용하였다.

### III. 결 과

#### 1. 환경오염 및 사회경제적 취약지역 주민들의 소변 중 카드뮴 농도 비교

Table 1은 본 연구에서 취약지역으로 정의한 네 개 지역 연구대상자들의 일반적 특성을 보여준다. 네 지역에서 모두 여성의



**Fig. 1.** Urinary cadmium concentrations of residents in the four study areas

Lines in boxes mean the median. National reference values were from 4th Korea National Environmental Health Survey (2018~2020) #1: national reference value of adults (geometric mean 0.39 µg/g cr.; n=3,794), #2: national reference value of 60s (geometric mean 0.78 µg/g cr.; n=924), #3: national reference value of adults (95th percentile 1.92 µg/g cr.; n=3,794), #4: benchmark dose of urinary cadmium concentration (0.50 µg/g cr.) reported to be starting tubular kidney damage<sup>28)</sup>.

cr.: creatinine; KoNEHS: Korea National Environmental Health Survey, CKD: chronic kidney disease.

비율이 높았고(52.2~68.8%), 연령은 60대 후반에서 70대 초반(67.8~70.9세)의 분포를 보였다. 저소득 집단에 해당하는 대상자는 시골 취약지역에서 25명(78.1%), 도시 취약지역 17명(25.4%), 폐광 지역 39명(61.9%), 제련소 지역 58명(69.9%)이었다.

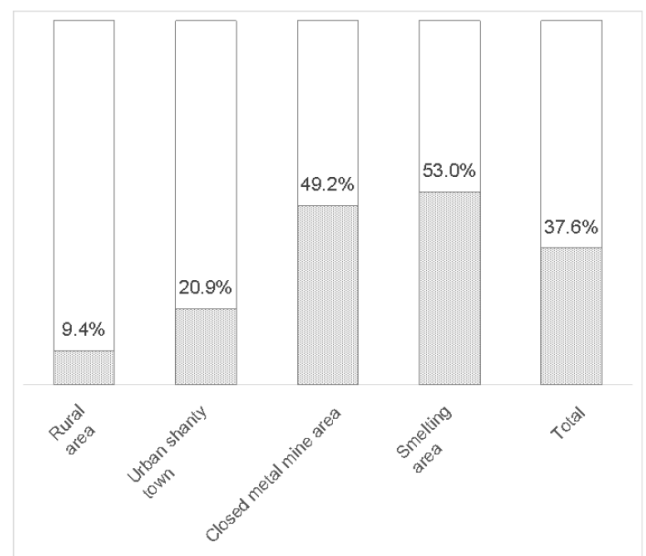
소변 중 카드뮴 농도의 기하평균은 시골 취약지역, 도시 취약지역, 폐광 지역, 제련소 지역이 각각 0.97, 1.28, 1.79, 2.02 µg/g creatinine (중앙값 각각 1.07, 1.27, 1.81, 1.95 µg/g creatinine)으로 제4기 국민환경보건 기초조사 성인 기하평균인 0.39 µg/g creatinine과 60대 연령 기하평균 0.78 µg/g creatinine에 비하여 네 집단 모두 높았다(Fig. 1).

생체지표의 고노출자 참고기준인 제4기 국민환경보건 기초조사의 성인 소변 카드뮴 농도 95퍼센타일 값인 1.92 µg/g creatinine을 초과한 대상자의 비율은 시골 취약지역에서 9.4% (3/32), 도시 취약지역에서 20.9% (14/67), 폐광 지역에서 49.2% (31/63), 제련소 지역에서 53.0% (44/83)로 전체 37.6% (92/245)가 95퍼센타일 참고치를 초과하였다(Fig. 2).

#### 2. 취약지역 내 사회경제적 취약 주민들의 카드뮴 노출과 신장영향 비교

Table 2는 취약지역 내 전체 대상자들을 개인의 사회경제적 수준에 따라 분류하고 각각의 일반적 특성을 정리한 것이다.

카드뮴 고노출자의 비율을 저소득 집단과 비저소득 집단으로 구분하여 비교한 결과(Table 3), 저소득 집단의 고노출자 비율은 46.8%로 비저소득 집단의 25.5%에 비하여 통계적으로 유의하게 높았다(p-value=0.001 by chi-square test). 또한 연령



**Fig. 2.** Rates of exceeders of the high-risk level - 95 percentage of urinary cadmium concentration of 4th Korea National Environmental Health Survey - 1.92 µg/g cr.

**Table 2.** General characteristics of study subjects of socioeconomic vulnerable populations

Variable		N (%) / Mean±SD	
		Low SES* (N=139)	Non-low SES (N=106)
Sex	Female	91 (65.5)	51 (48.1)
	Male	48 (34.5)	55 (51.9)
Age (yr)		72.6±9.7	65.2±10.1
Residential period (yr) <sup>†</sup>		32.0±23.0	29.5±20.6
Job history <sup>‡</sup>	No	118 (84.9)	88 (83.0)
	Yes	21 (15.1)	18 (17.0)
Smoking	Never	103 (74.1)	62 (58.5)
	Ex	22 (15.8)	30 (28.3)
	Current	14 (10.1)	14 (13.2)
Remodeling (last 6 mo)	No	126 (90.6)	95 (89.6)
	Yes	13 (9.4)	9 (8.5)
Residential area	Rural area	25 (18.0)	7 (6.6)
	Urban shanty town	17 (12.2)	50 (47.2)
	Closed metal mine area	39 (28.1)	24 (22.6)
	Smelting area	58 (41.7)	25 (23.6)

2 subjects answered 'I don't know' for the remodeling.

SD: standard deviation, yr: years, mo: months, SES: socioeconomic status.

\*Individuals giving public aid recipients - basic living security received and near poor families and/or with a monthly household income of less than 500,000 KRW.

<sup>†</sup>Residential history in the current living region.

<sup>‡</sup>Lifetime history in chemical industries, mines, paint manufacturing, spraying, welding, smelting, fusing, plating, printing, petrochemistry, and plastic industries, etc.

**Table 3.** Rates of subjects of high exposure of lower socioeconomic status and not

Variable	N (%)		p-value	Odds ratio (95% CI)
	Low SES (N=139)	Non-low SES (N=106)		
High concentration (>1.92 µg/g cr.)	65 (46.8)	27 (25.5)	0.001	2.249 (1.253, 4.038)
Not high concentration (≤1.92 µg/g cr.)	74 (53.2)	79 (74.5)		

1.92 µg/g cr. is the 95th percentile of the national reference values from 4th Korea National Environmental Health Survey (2018~2020).

p-value was calculated by Chi-square test and Fisher's exact test.

Odds ratio and 95% CI were calculated by Logistic regression test (adjusted variables of age, job history, smoking, residential period and remodelling).

CI: confidence interval, SES: socioeconomic status, cr.: creatinine.

을 비롯한 개인 변수들을 보정한 로지스틱 회귀분석 결과, 저소득 집단은 비저소득 집단에 비하여 고노출자로 분류될 위험도가 2.249배 높았다.

본 연구에서 측정된 소변 중 카드뮴 농도와 신장손상지표를 저소득, 비저소득 간 비교한 결과를 Table 4에 제시하였다. 저소득 집단의 소변 중 카드뮴 농도 기하평균은 1.78 µg/g creatinine으로, 비저소득 집단의 1.33 µg/g creatinine에 비하여 통계적으로 유의하게 높았다. 한편 ANCOVA를 이용한 보정평균은 95% 신뢰수준에서는 통계적으로 유의하지 않았다. β<sub>2</sub>-MG 역시 저소득 집단에서 187.33 µg/g creatinine으로 비저소득 집

단(140.74 µg/g creatinine)에 비하여 높았으나 95% 신뢰수준 하에서 통계적 유의성을 나타내지는 않았다. 반면, NAG 농도는 저소득 집단과 비저소득 집단이 각각 4.89, 3.63 IU/g creatinine으로 저소득 집단에서 유의하게 높았고 보정평균 역시 95% 신뢰수준 하에서 통계적으로 유의하였다.

소변 중 카드뮴 농도를 독립변수로, 신장손상지표를 종속변수로 포함한 선형 회귀분석을 저소득 집단과 비저소득 집단으로 구분하여 수행하였다(Table 5). 다양한 변수들을 보정한 네 개의 회귀분석 모델에서, 소변 중 카드뮴 농도와 β<sub>2</sub>-MG 간의 통계적으로 유의한 연관성을 찾을 수 없었다. 반면, NAG의 경

**Table 4.** Comparisons of the urinary cadmium concentrations and biomarkers of kidney damages between lower socioeconomic status and not

Variable		Low SES (N=139)	Non-low SES (N=106)	p-value 1	p-value 2
Urinary cadmium (µg/g cr.)	GM, GSD	1.78, 1.37	1.33, 1.03	<0.001	0.066
	AM±SD	2.29±1.72	1.61±1.08		
β <sub>2</sub> -MG (µg/g cr.)	GM, GSD	187.33, 1.65	140.74, 1.04	0.060	0.384
	AM±SD	497.21±1,702.38	217.93±288.82		
NAG (IU/g cr.)	GM, GSD	4.89, 1.39	3.63, 1.03	0.002	0.019
	AM±SD	6.85±6.09	4.74±4.61		

p-value 1 was calculated by Student's t-test.

p-value 2 was calculated from adjusted means by ANCOVA adjusted variables age and resident history.

GM: geometric mean, GSD: geometric standard deviation, AM: arithmetic mean, SD: standard deviation, SES: socioeconomic status, cr.: creatinine, β<sub>2</sub>-MG: beta<sub>2</sub>-microglobulin, NAG: N-acetyl-beta-D-glucosaminidase.

**Table 5.** Associations between urinary cadmium concentrations and biomarkers of kidney damages in the group of lower socioeconomic status and not

Dependent variable		Low SES (N=139)			Non-low SES (N=106)		
		Beta	R <sup>2</sup>	p-value	Beta	R <sup>2</sup>	p-value
β <sub>2</sub> -MG (µg/g cr.)	Model 1	50.896	-0.004	0.814	18.873	0.010	0.692
	Model 2	79.624	-0.003	0.707	50.198	-0.016	0.290
	Model 3	50.195	-0.011	0.817	21.706	0.005	0.649
	Model 4	58.041	-0.021	0.791	17.648	0.041	0.706
NAG (IU/g cr.)	Model 1	1.633	0.028	0.034	1.232	0.030	0.102
	Model 2	1.717	0.023	0.023	1.033	0.032	0.164
	Model 3	1.625	0.025	0.035	1.177	0.028	0.120
	Model 4	1.635	0.012	0.035	1.178	0.014	0.122

Each model was calculated by linear regression test.

Model 1 adjusted variables sex and age.

Model 2 adjusted variables sex, residence history and smoking.

Model 3 adjusted variables sex, age, and smoking.

Model 4 adjusted variables sex, age, job history, smoking and remodeling.

SES: socioeconomic status, cr.: creatinine, β<sub>2</sub>-MG: beta<sub>2</sub>-microglobulin, NAG: N-acetyl-beta-D-glucosaminidase.

우 비저소득 집단에서는 카드뮴 농도와 연관성을 보이지 않았고, 저소득 집단에서는 네 모델 모두에서 카드뮴 농도의 증가에 따른 NAG 농도의 유의한 증가 관계가 나타났다.

#### IV. 고 찰

본 연구는 두 개의 환경오염 취약지역과 두 개의 사회경제적 취약지역을 선정하여 카드뮴 노출수준 및 신장손상 수준을 평가하였다. 이 지역들에서 소변 중 카드뮴의 농도는 국내 참고치에 비하여 높은 수준이었으며, 이는 생체지표의 국제적 권고값(Human Biomonitoring Commission, HBM I, 1 µg/g creatinine)과 비교해도 높은 수준이다.<sup>25)</sup> 또한 소변 중 카드뮴 농도와 더불어, 대상자들의 신장손상 수준도 높은 것으로 파악되었

다. 집단 내에서도 소득수준이 낮은 집단의 소변 중 카드뮴 농도는 더 높았으며, 비저소득층에서는 확인할 수 없었던 소변 중 카드뮴 농도에 따른 신장손상의 연관성을 저소득층 대상자들에게서 확인할 수 있었다.

본 연구의 시료채취는 늦여름과 가을에 수행하였다. 소변 중 카드뮴의 국내 참고치는 여름이 겨울보다 높다는 경향이 알려져 있으나,<sup>26)</sup> 소변 중 카드뮴의 노출은 만성노출수준을 보여주는 지표이고 계절적 변이를 감안하여도 본 연구의 결과는 국내 참고치에 비하여 현저히 높은 수준의 농도를 보여준다.<sup>25)</sup> 즉, 본 연구는 주민들의 카드뮴 수준이 높은 것으로 알려진 폐광이나 제련소 지역은 물론이고, 경제적 수준이 낮은 도시와 시골 지역 역시 국가 참고치에 비하여 높은 카드뮴 수준을 보임을 확인하였다. 아울러, 본 연구는 환경오염 지역이나 저소득 지역

에 거주하는 주민들 중에서도 사회경제적 수준이 보다 낮은 개인들은 카드뮴 노출수준과 신장영향이 더 높게 나타나는 것을 보여준다.

본 연구의 저소득 집단(Low SES)이 그렇지 않은 집단에 비하여 평균 연령이 높았으므로 소변 중 카드뮴과 신장영향지표의 농도가 높았을 수 있다. Table 4에서 ANCOVA를 통하여 연령을 보정한 후 low SES와 not-low SES 집단의 차이에 대한 통계적 유의성이 감소한 것은 저소득 집단의 농도 증가 요인에 있어 연령의 효과가 존재함을 의미한다. 그러나 보정 이후에도 여전히 저소득 집단의 카드뮴 및 신장영향지표 농도가 높다. 또한 연령을 보정한 로지스틱 회귀분석 모델에서 저소득 집단은 소변 중 카드뮴 고노출 농도의 위험이 높았고(Table 3), 소변 중 카드뮴 농도에 있어 연령 효과는 분명 존재하지만 그럼에도 불구하고 저소득 집단의 농도가 상대적으로 높았다.

경제적 수준이 낮은 집단은 환경유해물질에 노출가능한 직업을 가질 가능성이 높으므로, 본 연구에서 카드뮴 노출수준이 높았던 것이 직업적 노출에 원인이 있을 것으로 생각할 수도 있다.<sup>27)</sup> 본 연구를 통하여 대상자들의 카드뮴 노출에 대한 명확한 원인을 제시할 수는 없다. 그러나 본 연구 대상자들 중 카드뮴 노출가능 직업력을 가진 대상자의 비율이 전체의 20% 안팎으로 직업력이 카드뮴 노출과 신장기능저하에 큰 영향을 미쳤을 것으로 보기는 어렵다. 또한 직업력이나 흡연과 같은 비환경적 노출로 인하여 환경유해물질 노출수준이 높더라도 이 역시 사회경제적 취약계층의 환경노출 취약성을 보여주는 특성이라고 할 수 있다.

본 연구 대상자들 대부분이 소변 중 카드뮴 농도가 관상신장손상(tubular kidney damage)이 시작되는 것으로 알려진 0.5  $\mu\text{g/g}$  creatinine을 넘기고 있었다.<sup>28)</sup> 본 연구에서는 두 개의 신장손상지표 중 NAG만 유의한 차이를 보였는데, NAG는 급성신장손상의 민감한 지표로,  $\beta_2$ -MG는 만성신장질환의 지표로 권장된다.<sup>29)</sup> 따라서 본 연구 대상자들, 특히 저소득 집단에게 있어 카드뮴의 노출은 만성신장질환보다는 급성신장손상에 보다 취약할 수 있을 것으로 판단되지만 현재의 연구결과로는 대상주민들의 급만성 영향의 관계를 설명하기에는 제한적이다.

본 연구는 카드뮴 노출과 신장영향의 관계를 분석하고자 한 것이 아니라, 카드뮴 노출과 신장영향이라는 이미 잘 알려진 노출-건강영향 관계에 있어 환경 및 사회경제적 취약집단에 보다 큰 효과가 나타날 수 있음을 분석하고자 한 것이다. 특히 이러한 효과가 환경오염이 높은 지역이나 사회경제적 취약성이 높은 지역 중에서도 상대적으로 취약한 주민들에게 더 높게 나타날 수 있음을 보여준다.

따라서 본 연구는 카드뮴 노출과 그로 인한 신장기능 손상이 환경오염 취약지역과 사회경제적 취약계층 거주지역에서 일어나고 있음을 보여주었고, 이는 앞선 보고를 뒷받침한다.<sup>29)</sup> 환경유해물질 노출수준의 불평등을 보고한 기존의 연구들은 사회

경제적 취약성을 거주지역으로 묶은 집단으로 구분하고 이들 집단에서 노출수준 차이가 나타남을 보여주고 있다.<sup>6-9,11)</sup> 본 연구 역시 지리적으로 분류한 환경보건 취약집단의 환경유해물질 노출수준이 높은 수준임을 증명하였다. 이러한 결과에 더하여, 본 연구는 지역단위의 취약집단 중에서도 상대적으로 소득수준이 낮은 개인들의 노출수준과 건강영향 연관성이 높게 나타남을 제시한다. 이는 지리적 취약집단 내에서도 환경노출과 건강영향에 보다 취약한 개인이 존재한다는 것을 의미한다.

환경보건 영역에서 환경정의는 보다 개인화되고 맞춤형 정책 개입과 모니터링을 필요로 한다. 개인화된 의학의 접근 방식과 개별 맞춤형 환경보건 서비스의 관점에서, 노출과학은 개인화될 필요가 있고<sup>30,31)</sup> 특히 개인의 생물학적 정보와 함께 사회경제적 상황에 대한 고려도 필요하다. 또한 취약집단의 환경노출에 대한 연구 수행 과정에서 연구자들은 지역사회와 그 구성원들에 대하여 더 많이 배우고 문제를 도출할 수 있어야 한다.<sup>31)</sup>

본 연구에서 사회경제적 취약집단을 구분한 기준인 저소득층 대상 급여 지급 여부와 월 50만원 미만의 소득 기준이 환경정의 측면에서 취약계층을 구분하는 합리적인 기준이 될 수 있는지에 대해서는 추가적인 논의가 필요하다. 본 연구에서 적용한 경제적 취약성 외에, 주거취약성, 교육수준, 환경성질환유병 여부 등 다양한 척도들이 취약집단을 정의하기 위하여 고려될 필요가 있다. 그러나 사회보장 지급 여부와 하위소득 기준에 따른 경제적 취약집단은 우선적으로 사회의 보호가 필요한 집단임을 부인할 수 없다.

본 연구는 단면조사 연구가 가지는 한계와 함께, 대상자들의 실제 신장질환 등에 대한 조사가 이루어지지 못했다는 제한을 가진다. 또한 이외에도 다른 환경유해인자의 존재 가능성, 개인별 행동양식의 차이 등 카드뮴 노출에 의한 신장영향 연관성을 판단하는데 많은 제한점이 있을 수 있다. 아울러, 인구집단의 건강을 결정하는 복합 요인과 복합 환경유해물질 노출에 대한 종합적 고려가 이루어지지 못하였고, 연구 결과를 일반화하기에는 효과 크기 및 과학적 근거수준이 낮은 채로 머물러 있다.

본 연구는 일반인구집단을 대상으로 일반화가 가능한 과학적 명제를 증명하기 보다는 저소득 집단이라는 특수한 집단의 부분적인 관찰결과를 보고한 것이다. 그간의 연구들은 전체 일반인구집단 중 사회경제적 취약집단을 따로 떼어낸 후 그들의 환경노출수준과 건강영향 수준을 일반인구집단과 비교한 것이 대부분이므로, 취약집단에 초점을 맞추고 그들의 상황을 깊이 있게 분석한 연구는 현재까지 찾기 어렵다. 따라서 향후 사회경제적 취약집단에 대한 보다 많은 데이터 확보와 과학적 근거 제시가 필요하다. 또한 다양한 환경유해인자들과 환경보건위해요인들에 대한 취약집단을 발굴하는 것이 무엇보다 필요하다.

본 연구는 지리적으로 분류한 환경오염 및 사회경제적 취약

집단 내에서도 보다 취약한 집단이 존재하고 이들에게 환경노출로 인한 건강영향의 효과가 크게 나타날 수 있다는 점을 제시한다.

## V. 결 론

본 연구는 환경오염 및 사회경제적 취약집단 각각 두 개씩 선정하여 소변 중 카드뮴 노출수준과 신장손상지표를 분석하였다. 선정된 네 지역에서 소변 중 카드뮴 농도는 국가 참고치를 웃도는 높은 수준을 보였으며, 대상자들 중 기초생활수급자나 차상위계층 및 그와 유사한 집단의 소변 중 카드뮴 농도가 그렇지 않은 집단에 비하여 유의하게 높았다. 특히 이들 집단에서는 소변 중 카드뮴 농도와 신장손상지표(NAG) 간 유의한 연관성이 있었으나 비저소득 집단에서는 그렇지 않았다. 본 연구는 거주지 중심의 집단 노출수준과 건강영향을 평가한 기존 연구들에 더하여, 소득수준을 기준으로 한 집단 내 하위집단의 환경보건 취약성이 더 문제가 될 수 있음을 제시함으로써, 환경정의를 실현함에 있어 화학물질 노출 측면에서의 사회적인 약자들에 대해 환경보건정책적으로 환경불평등이 존재하는지 검토할 필요가 있음을 시사한다.

## 감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다(NRF2020R1A6A1A03042742). 또한 이 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경성질환 예방관리 핵심 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2021003320003).

## Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## References

1. Jiang Y, Yang Y. Environmental justice in greater Los Angeles: impacts of spatial and ethnic factors on residents' socioeconomic and health status. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19(9): 5311.
2. Yi IH. An analytical review of environment justice research: the issues and trend. *Space Environ*. 2008; 29: 32-67.
3. Park CH, Han HJ, Lee YM, Yoo SE, Jung DY, Chu YH. A case study on the evaluation of environmental health status focused on multiple impact and environmental justice. *J Environ Health Sci*. 2020; 46(1): 22-34.
4. Driver A, Mehdizadeh C, Bara-Garcia S, Bodenreider C, Lewis

- J, Wilson S. Utilization of the Maryland environmental justice screening tool: a Bladensburg, Maryland case study. *Int J Environ Res Public Health*. 2019; 16(3): 348.
5. Braubach M, Fairburn J. Social inequities in environmental risks associated with housing and residential location--a review of evidence. *Eur J Public Health*. 2010; 20(1): 36-42.
6. Šlachtová H, Jiřík V, Tomášek I, Tomášková H. Environmental and socioeconomic health inequalities: a review and an example of the industrial Ostrava region. *Cent Eur J Public Health*. 2016; 24(Suppl): S26-S32.
7. Brazil N. Environmental inequality in the neighborhood networks of urban mobility in US cities. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2022; 119(17): e2117776119.
8. Chakraborty J, Basu P. Air quality and environmental injustice in India: connecting particulate pollution to social disadvantages. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(1): 304.
9. Miao Y, Porter WC, Schwabe K, LeComte-Hinely J. Evaluating health outcome metrics and their connections to air pollution and vulnerability in Southern California's Coachella Valley. *Sci Total Environ*. 2022; 821: 153255.
10. Faroon O, Ashizawa A, Wright S, Tucker P, Jenkins K, Ingerman L, et al. Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry; 2012. p.273-274.
11. Jones DH, Yu X, Guo Q, Duan X, Jia C. Racial disparities in the heavy metal contamination of urban soil in the southeastern United States. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19(3): 1105.
12. Joo Y, Kwon YM, Kim SY, Choi K, Lee C, Yu SD, et al. A study on heavy metals exposure and major sociodemographic influence factors among Korean adults- Korean National Environmental Health Survey (2009-2017). *J Environ Health Sci*. 2019; 45(5): 541-555.
13. Jee Y, Cho SI. Associations between socioeconomic status and blood cadmium levels in Korea. *Epidemiol Health*. 2019; 41: e2019018.
14. Lee J, Oh S, Kang H, Kim S, Lee G, Li L, et al. Environment-wide association study of CKD. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2020; 15(6): 766-775.
15. Jalili C, Kazemi M, Cheng H, Mohammadi H, Babaei A, Taheri E, et al. Associations between exposure to heavy metals and the risk of chronic kidney disease: a systematic review and meta-analysis. *Crit Rev Toxicol*. 2021; 51(2): 165-182.
16. Brailsford JM, Hill TD, Burdette AM, Jorgenson AK. Are socioeconomic inequalities in physical health mediated by embodied environmental toxins? *Socius*. 2018; 4: 1-9.
17. Geron M, Cowell W, Amarasiriwardena C, Andra SS, Carroll K, Kloog I, et al. Racial/ethnic and neighborhood disparities in metals exposure during pregnancy in the Northeastern United States. *Sci Total Environ*. 2022; 820: 153249.
18. Ahn SC, Chang JY, Lee JS, Yu HY, Jung AR, Kim JY, et al. Exposure factors of cadmium for residents in an abandoned metal mine area in Korea. *Environ Geochem Health*. 2017; 39(5): 1059-1070.
19. Kim E, Moon SI, Yim DH, Choi BS, Park JD, Eom SY, et al. Evaluation of the relationship between the exposure level to mixed hazardous heavy metals and health effects using factor analysis. *J Environ Health Sci*. 2022; 48(4): 236-243.



20. Hong H, You YJ. Landscape analysis on the urban decline region - a case of 104 village in Nowon-gu, Seoul. *J Assoc Korean Photo Geogr.* 2012; 22(1): 77-90.
21. Ministry of Health and Welfare. National Basic Living Security Act. Available: <https://www.law.go.kr/LSW/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000191834> [accessed 13 February 2023].
22. Cho YM, Yang M, Im H, Cha S, Lee J, Kim KH, et al. Development and validation of the simultaneous analytical method of urinary metals and metalloids for the National Biomonitoring Programs. *J Environ Health Sci.* 2019; 45(6): 594-604.
23. Ventura C, Gomes BC, Oberemm A, Louro H, Huuskonen P, Mustieles V, et al. Biomarkers of effect as determined in human biomonitoring studies on hexavalent chromium and cadmium in the period 2008-2020. *Environ Res.* 2021; 197: 110998.
24. Becker K, Seiwert M, Angerer J, Heger W, Koch HM, Nagorka R, et al. DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust. *Int J Hyg Environ Health.* 2004; 207(5): 409-417.
25. KOSIS (Korean Statistical Information Service). Results of the Korean National Environmental Health Survey (KoNEHS) - Cadmium in Urine (Creatinine Adjusted) 2020. Available: [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=106&tblId=DT\\_106N\\_99\\_1100058&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=106\\_002\\_002&scrId=&seqNo=&lang\\_mode=ko&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=106&tblId=DT_106N_99_1100058&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=106_002_002&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do) [accessed 23 September 2022].
26. Hwang MY, Ryu JM, Kwon YM, Hong SY, Park CH. Seasonal variations of exposure to environmental chemicals: implication from the Korean National Environmental Health Survey (2012-2014). *J Environ Health Sci.* 2018; 44(6): 572-580.
27. MacDonald LA, Cohen A, Baron S, Burchfiel CM. Occupation as socioeconomic status or environmental exposure? A survey of practice among population-based cardiovascular studies in the United States. *Am J Epidemiol.* 2009; 169(12): 1411-1421.
28. Nawrot TS, Staessen JA, Roels HA, Munters E, Cuypers A, Richart T, et al. Cadmium exposure in the population: from health risks to strategies of prevention. *Biometals.* 2010; 23(5): 769-782.
29. Glicklich D, Frishman WH. The case for cadmium and lead heavy metal screening. *Am J Med Sci.* 2021; 362(4): 344-354.
30. Racz L, Rish W. Exposure monitoring toward environmental justice. *Integr Environ Assess Manag.* 2022; 18(4): 858-862.
31. Van Horne YO, Alcalá CS, Peltier RE, Quintana PJE, Seto E, Gonzales M, et al. An applied environmental justice framework for exposure science. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2023; 33(1): 1-11.

#### 〈저자정보〉

조용민(교수), 진호현(석사과정), 강지윤(석사과정), 김차훈(학사과정), 한다희(연구원), 김수현(학사과정), 한서희(학사과정), 홍영습(교수), 김기태(교수)