

## 한국 성인에서의 생활행태와 혈중 카드뮴 농도

이 상 혁, 최 병 선, 박 정 덕\*

중앙대학교 의과대학 예방의학교실

### Life Styles and the Blood Cadmium Concentration in Korean Adults

Sang-Hyuk Lee, Byung-Sun Choi and Jung-Duck Park\*

Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Chung-Ang University,  
Seoul 156-756, Korea

#### ABSTRACT

In this study, we analyzed the blood cadmium concentration in general population of Korea, and followed the analyses the relations with epidemiologic factors, life-style and body iron store. The geometric mean concentration of blood cadmium was 1.20  $\mu\text{g/L}$  in study subject, the level of blood cadmium was higher in female (1.27  $\mu\text{g/L}$ ) than in male (1.11  $\mu\text{g/L}$ ). The mean concentration of blood cadmium was the highest in coastal area (1.80  $\mu\text{g/L}$ ) and followed in urban (1.01  $\mu\text{g/L}$ ) and rural area (0.90  $\mu\text{g/L}$ ). The cadmium concentration in whole blood was increased with age-dependent pattern, such as 0.64  $\mu\text{g/L}$  in the below 30 years, 0.95  $\mu\text{g/L}$  in the 30~44 years, 1.28  $\mu\text{g/L}$  in the 45~59 years and 1.31  $\mu\text{g/L}$  in the over 60 years. The level of blood cadmium was higher in smokers than in non-smokers, but was not significant by alcoholic habit. The blood cadmium level was different from occupations, which was the highest in the fishers as 1.87  $\mu\text{g/L}$ . The inverted relation was observed between blood cadmium and serum Fe, while was correlated positively with the ferritin level. In summary, the environmental exposure to cadmium in Korean is not so much compared to other countries, and the blood cadmium is influenced by genetic factors (age and sex), life-styles (dietary habit, occupation and smoking habit) and nutrition such as serum iron.

**Key words** : blood cadmium concentration, life-styles, serum Fe

#### 서 론

환경 중에 널리 분포되어 있는 카드뮴(cadmium, Cd)은 인체에 전혀 필요하지 않는 유해 금속물질(toxic and non-essential heavy metal)로서 과량 흡수

되었을 때 흡수경로에 따라 차이가 있으나 발열, 오한, 구토, 폐렴 및 호흡곤란 등의 급성 건강장애와 만성적으로는 단백뇨, 이온 및 효소노, 골연화, 폐기종 등의 다양한 건강장애가 유발된다(Itokawa *et al.*, 1973; Jung *et al.*, 1993). 또한, 카드뮴은 인간 발암물질(human carcinogen, IARC group I)로 분류되어 있어 만성적인 노출에 대한 관리가 매우 중요하다(IARC, 1993).

카드뮴은 주로 두 가지 경로, 즉 소화기계와 호

\*To whom correspondence should be addressed.  
Tel: +82-2-820-5668, Fax: +82-2-815-9509  
E-mail: jdpark@cau.ac.kr

흡기계를 통해 흡수되며 체내에서의 반감기가 약 20~40년으로 매우 길어 표적장기에 축적되는 경향이 있어, 카드뮴에 직접적으로 폭로되고 있는 산업장 근로자나 카드뮴 오염지역에 거주하는 지역 주민들의 경우 미량이나마 장기적으로 카드뮴에 폭로되어 급·만성 건강장애를 일으킬 수 있다 (Tsuchiya, 1969; Roels *et al.*, 1993; 박정덕 등, 1998; Kim *et al.*, 2008). 직업적으로 또는 특별히 카드뮴에 노출되지 않은 일반주민들에 있어서도 식이나 물, 공기 및 흡연 등을 통해 미량의 카드뮴에 노출됨으로 인해 체내에 카드뮴이 축적된다. 그러므로 각 지역별로 카드뮴에 특별히 노출되지 않은 일반주민들에서의 체내 카드뮴 양을 파악함으로써 그 지역의 오염의 정도를 추정할 수 있을 뿐만 아니라, 산업 및 환경의학적 측면에서 직업적 또는 오염된 환경으로 인해 과량의 카드뮴에 노출된 자들에서 카드뮴 중독을 진단하는데 필요한 기본 자료로도 활용될 수 있다.

동일한 수준의 카드뮴에 노출되더라도 체내 영양상태 즉, 철 또는 아연의 수준에 따라 카드뮴의 흡수에 차이가 있음이 역학조사와 동물실험을 통해 보고된 바 있다 (Ragan, 1977; Flanagan *et al.*, 1978; Park *et al.*, 2002; Ryu *et al.*, 2004). 이러한 자료는 철이 부적절하게 공급되거나 체내 철 요구량이 많으면 동일 양의 카드뮴에 노출되는 환경일지라도 장관에서 흡수정도의 차이로 인해 상대적으로 카드뮴의 내부 노출량이 증가될 수 있어 카드뮴의 독성에 민감할 수 있음을 시사한다.

카드뮴에 대한 인체노출을 평가하는 지표로서 신장내 카드뮴 축적량과 혈액과 요중 카드뮴 양 및 신장기능을 반영하는 지표, 즉 요중 총단백질, 알부민,  $\beta_2$ -microglobulin과 metallothionein과 같은 저분자량단백질, N-acetyl- $\beta$ -glucosaminidase와 같은 효소, Ca 및 P와 같은 이온 등의 배설량 등이 있으나, 신장내 카드뮴 축적량과 혈액과 요중 카드뮴 양이 특이적인 지표로 알려져 있다 (Shaikh *et al.*, 1987; Kido *et al.*, 1992). 이 중 신장내 카드뮴 축적량이 카드뮴에 대한 노출량을 가장 잘 반영해 줄 수 있는 지표이나 현실적으로 적용의 어려움이 있으며, 요중 카드뮴 양은 24시간 요 채취의 어려움과 시료 채취시 혈액에 비해 오염의 기회가 높을 수 있다. 혈중 카드뮴은 카드뮴에 대한 최근의 노출을 잘 반영할 뿐만 아니라 체내 축적량도 일부

반영해 주며 (Elinder, 1991), 시료 채취시 오염의 기회가 상대적으로 적어 현재 카드뮴에 대한 인체 노출지표로서 유용하게 이용되고 있다. 일반 인구 집단에서 카드뮴에 대한 노출은 개인 간에 유전적인 요인에 따른 차이도 있겠지만 개개인의 식생활 습관과 생활행태 및 영양상태 등에 따른 노출평가가 우선적으로 고려되어야 한다.

이번 연구에서는 카드뮴에 특별히 노출된 적이 없는 일반 성인 인구집단을 대상으로 혈중 카드뮴 농도를 이용하여 카드뮴에 대한 노출수준을 평가하고, 개인의 식이와 흡연, 음주 등 생활행태와 체내 철 수준 등을 분석하여 식이와 생활행태 및 영양상태에 따른 카드뮴의 체내 노출수준과의 관련성을 분석하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 연구 대상자 및 조사 대상지역

이번 연구에서는 20세 이상의 남자 235명, 여자 331명으로 총 566명을 조사대상자로 하였다. 이때 조사대상자의 거주지역에 따라 생활행태가 서로 다를 것으로 기대되는 도시지역, 해안지역 및 농촌지역을 대상으로 각각의 지역별로 181명 (남자 65명, 여자 116명), 206명 (남자 91명, 여자 115명), 179명 (남자 79명, 여자 100명)을 임의·선정하였다 (Table 1). 지역에 따른 조사대상자들의 남자와 여자의 분포는 차이가 없었다. 해안지역은 어업에 종사하는 주민이 주를 이루고 있는 충청도의 2개군 일부의 어촌주민, 농촌지역은 농업에 종사하는 주민이 주 구성인구인 경기도와 강원도 1개군의 일부 지역주민, 그리고 도시지역은 비교적 규모가 큰 경기도에 소재하는 2개의 시 지역에 거주하는 일부 주민들을 대상으로 하였다.

### 2. 설문조사 및 시료채취

조사대상자들에게 이번 연구의 목적과 내용 및 진행과정을 충분히 설명한 후 조사에 참여할 것을 동의한 사람 566명을 대상으로 미리 작성된 설문지를 이용하여 개인 면접방식으로 설문조사 하였다. 설문내용은 조사대상자의 인적사항을 포함하여 현재흡연, 과거흡연 및 비흡연 등 흡연력과 음주력

**Table 1.** Distribution of study population by sex and district  
(Unit : person)

District	Male	Female	Total
Urban area	65	116	181
Coastal area	91	115	206
Rural area	79	100	179
Total	235	331	566

및 직업력 등에 대한 항목으로 구성하였으며 식이를 함께 조사하였다. 연구대상자들에 대한 식이조사는 조사 전날 24시간 동안 섭취한 식이를 아침, 점심, 저녁 식사를 중심으로 시간대 별로 간식을 포함하여 섭취한 식이의 식품 또는 음식의 종류 및 각각의 섭취량을 조사하였다. 이때 식이에 대한 조사를 표준화하기 위하여 미리 준비된 식이의 종류에 따른 실제 크기의 모형과 사진을 이용하여 개인별 식품 섭취량을 추정하였다. 설문조사 후 조사대상자들로부터 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액 중 혈중 카드뮴 분석은 전혈을 이용하였고, 체내 철 수준 평가를 위한 시료는 채취 혈액을 즉시 원심분리기(3000 rpm, 10분)를 이용하여 분리한 혈청을 이용하였다. 전혈과 분리한 혈청은 분석시까지  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 냉동·보관하였다. 본 연구의 연구내용 및 수행에 대한 학문적, 윤리적인 면에 있어서 중앙대학교 의학연구 윤리위원회로부터 검토 후 승인을 받았다.

### 3. 체내 철 수준 평가

조사대상자의 체내 철 수준은 혈청내 총 Fe량, unsaturated iron binding capacity (UIBC), total iron binding capacity (TIBC) 및 혈청내 ferritin 등을 이용하여 평가하였다. 혈청내 총 Fe와 UIBC는 Sigma Diagnostic Kit (USA)를 이용하여 정량하였고, TIBC는 정량한 총 Fe와 UIBC를 이용하여 산출하였다. 혈청내 ferritin은 Omega Diagnostic Kit (UK)를 이용하여 enzyme immunoassay (EIA) 방법으로 정량하였다.

### 4. 혈중 카드뮴 정량

혈중 카드뮴은 Subramanian and Meranger (1981)의 방법을 이용하여 분석하였다. 즉, 전혈 100  $\mu\text{L}$ 를 1% 질산 100  $\mu\text{L}$ 와 800  $\mu\text{L}$ 의 희석액(1.25%  $(\text{NH}_4)_2$

$\text{HPO}_4$  & 1% Triton X-100)으로 충분히 혼화하여 완전히 용혈 시킨 후 사용하였다. 이때 시료에 함유된 카드뮴 양은 autosampler와 Zeeman 방식의 graphite furnace가 부착된 원자흡광분광도계(Atomic absorption spectrophotometer, Perkin-Elmer Model Analyst 600)를 이용하여 flameless 방법으로 정량하였다. 카드뮴 표준용액은 1,000 ppm 원자흡광분석용 용액(Sigma)을 희석하여 이용하였다. 이때 혈중 카드뮴 분석에 있어서 정확성을 도모하기 위하여 3단계 수준의 혈액 표준시료(Lymphocheck<sup>®</sup> Whole Blood Metals Control, Bio-Rad)를 이용하여 정도·관리하였다. 혈중 카드뮴 양은  $\mu\text{g/L}$ 로 산출하였다.

### 5. 자료정리 및 분석

조사대상자들로부터 얻은 자료로부터 우리나라 성인에 있어서 유해 중금속인 카드뮴에 대한 노출 수준을 평가하고, 성과 연령 등 인적요인, 흡연과 음주 등 생활행태와 식이양상 및 체내 철 수준 등과 함께 비교·분석하여 카드뮴 노출과의 관련성을 평가하였다. 조사결과 얻은 자료의 통계적 분석은 SPSS (Version 17)을 이용하였다. 연구결과 얻은 자료로부터 혈중 카드뮴은 기하평균과 기하표준편차를 산출하였고, 그 외 자료는 산술치를 이용하였다. 연구결과 얻은 자료의 평균치 비교는 Student's t-test 또는 ANOVA와 Duncan's multiple comparison test를 이용하였고, 변수들 사이의 관련성은 Pearson의 상관분석법을 이용하였다.

## 결 과

### 1. 조사대상자의 역학적 특성

조사대상자들의 연령, 흡연력, 음주력 및 직업 등 역학적 특성은 Table 2와 같다. 즉, 전체 조사대상자들의 평균 연령은 56.6세이었고, 성별로는 남자 56.9세 여자 56.4세로서 남녀 간에 차이는 없었다. 조사대상자들의 흡연력은 남자의 경우 현재 흡연 38.7%, 과거 흡연 33.6%, 여자에서는 현재 흡연 2.7%, 과거 흡연 2.4%이었다. 음주력은 남자에서는 75.3%에서 음주력이 있었으나 여자에서는 36.9%에 해당되었다. 조사대상자들의 직업분포를 보면

**Table 2.** Demographic characteristics of the study population

(Unit : person)

Variables	Male	Female	Total	
Age (yrs)	Below 30	8 (3.4%)	10 (3.0%)	18 (3.2%)
	30~44	38 (16.2%)	67 (20.2%)	105 (18.6%)
	45~59	82 (34.9%)	112 (33.8%)	194 (34.3%)
	Above 60	107 (45.5%)	142 (42.9%)	249 (44.0%)
	Mean $\pm$ SD	56.9 $\pm$ 13.8	56.4 $\pm$ 14.8	56.6 $\pm$ 14.4
Smoking	Current	91 (38.7%)	9 (2.7%)	100 (17.7%)
	Ex-smoker	79 (33.6%)	8 (2.4%)	87 (15.4%)
	None	65 (27.7%)	314 (94.9%)	379 (67.0%)
Drinking	Yes	177 (75.3%)	122 (36.9%)	299 (52.8%)
	No	58 (24.7%)	209 (63.1%)	267 (47.2%)
Occupation	Agriculture	83 (35.3%)	56 (16.9%)	139 (24.6%)
	Fishing	42 (17.9%)	48 (14.5%)	90 (15.9%)
	Service	42 (17.9%)	53 (16.0%)	95 (16.8%)
	Business	23 (9.8%)	25 (7.6%)	48 (8.5%)
	Labors or Housekeeping	45 (19.2%)	149 (45.0%)	194 (34.3%)

**Table 3.** Body iron status in the study population

Variables	Male	Female	Total	Statistics
sFe ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	131.2 $\pm$ 48.5	103.7 $\pm$ 36.5	115.1 $\pm$ 44.0	t=7.70**
UIBC ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	176.7 $\pm$ 54.7	209.0 $\pm$ 53.9	195.6 $\pm$ 56.5	t=-6.99**
TIBC ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ )	307.9 $\pm$ 49.6	312.7 $\pm$ 49.3	310.7 $\pm$ 49.5	t=-1.14
Ferritin ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	105.3 $\pm$ 104.4	50.7 $\pm$ 56.9	73.4 $\pm$ 84.4	t=7.98**

\*\* p &lt; 0.01; sFe, serum iron; UIBC, unsaturated iron binding capacity; TIBC, total iron binding capacity

남자에서는 농업에 종사하는 사람이 조사대상자의 약 35%로서 가장 많았으나, 여자에서는 주부 등 기타가 45%로 가장 많았다. 지역별로 볼 때, 조사대상자들의 평균 연령은 어촌(61.8세)과 농촌(57.5세)지역 조사대상자들이 도시(50.0세)지역보다 많았으나, 흡연력과 음주력은 지역간에 뚜렷한 차이는 없었다. 직업력의 경우 농촌은 농업종사자, 어촌은 어업종사자, 그리고 도시지역은 서비스업종사자가 가장 많아서 조사지역에 따라 조사대상자의 직업특성이 뚜렷하였다.

## 2. 조사대상자들의 체내 철 수준

조사대상자들의 체내 철 수준을 반영하는 혈액 검사지표들의 소견은 Table 3과 같다. 즉, 조사대상자들의 혈청 총 철, UIBC, TIBC 및 ferritin 량은 각각 115.1  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 195.6  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 310.7  $\mu\text{g}/\text{dL}$  및 73.4  $\mu\text{g}/\text{L}$ 이었다. 성별로는 총 철의 경우 남자가 131.2

$\mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 여자 103.7  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 에 비해 높았고, UIBC는 여자가 209.0  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 로서 남자 176.7  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 에 비해 높았으며 TIBC는 비슷한 수준(남자: 307.9  $\mu\text{g}/\text{dL}$ , 여자: 312.7  $\mu\text{g}/\text{dL}$ )이었다. 혈청 ferritin은 남자(105.3  $\mu\text{g}/\text{L}$ )에서 여자(50.7  $\mu\text{g}/\text{L}$ )보다 높은 수준으로 나타났다. 조사대상자들의 거주지역에 따른 체내 철 수준의 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다.

## 3. 조사대상자들의 식이양상

조사대상자들의 설문조사 전 24시간 동안의 식이를 조사한 결과 Table 4와 같다. 즉, 전체 조사대상자들의 평균 1일 총 식이섭취량은 1176.7 g이었고, 성별로는 남자 1307.8 g, 여자 1082.8 g로서 남자가 많이 섭취하였다. 식품별 섭취량을 볼 때 곡류, 채소류, 육류, 알콜 및 음료 등은 남자가 많이 섭취하였고, 우유제품은 여자가 많이 섭취하였으며 기타 식이의 섭취량은 남녀 간에 차이가 없는 것으

**Table 4.** Daily intakes of food in the study population

Variables	Male	Female	Total	Statistics
Food intake, (g)	1307.8±681.9	1082.8±600.3	1176.7±644.7	t=4.14**
Cereals	293.9±104.1	254.7±112.9	271.0±110.9	t=4.20**
Potato & Starches	30.1±71.1	36.2±79.6	33.7±76.1	t=-0.93
Sugar & Sweeteners	8.3±9.9	6.6±13.5	7.3±12.1	t=1.71
Nuts & Seeds	2.6±8.1	1.9±10.7	2.2±9.7	t=0.76
Vegetables	321.8±219.3	247.2±160.1	278.3±190.5	t=4.66**
Fruits	161.2±363.0	178.7±349.5	171.4±355.0	t=-0.58
Meats	77.0±138.0	43.9±70.4	57.7±105.2	t=3.73**
Eggs	12.5±28.1	13.6±28.8	13.2±28.5	t=-0.44
Fish & Shellfish	61.1±92.3	52.3±79.9	56.0±85.4	t=1.21
Seaweeds	2.3±7.2	3.5±9.4	3.0±8.6	t=-1.62
Mushrooms	2.0±7.2	2.5±11.1	2.3±9.7	t=-0.64
Milks	39.2±83.1	67.7±138.4	55.8±119.3	t=-2.82**
Alcohol & Beverages	261.7±399.6	140.9±300.7	191.4±350.2	t=4.09**
Oils	4.8±6.5	6.1±17.5	5.5±14.0	t=-1.08
Seasonings	29.0±24.1	26.4±20.8	27.5±22.3	t=1.36

\*\* p&lt;0.01

**Table 5.** Mean concentration of cadmium in whole blood (µg/L) by demographic factors in the study population

Variables	Male		Female		Total		Statistics	
	GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD		
Age (yrs)	Below 30	0.63	1.61	0.65	2.16	0.64	1.90	F=13.34**
	30~44	0.95	1.84	0.95	1.77	0.95	1.79	
	45~59	1.17	1.90	1.37	2.04	1.28	1.99	
	Above 60	1.17	1.96	1.43	1.70	1.31	1.83	
District	Urban area	0.81	1.77	1.14	1.70	1.01	1.77	F=82.60**
	Coastal area	1.73	1.62	1.85	1.74	1.80	1.69	
	Rural area	0.86	1.84	0.92	1.91	0.90	1.88	
Smoking	Current	1.44	1.77	1.27	2.43	1.42	1.82	F=4.31*
	Ex-smoker	1.12	1.89	1.74	1.73	1.17	1.90	
	None	0.76	1.86	1.26	1.89	1.15	1.94	
Drinking	Yes	1.12	1.96	1.20	2.08	1.15	2.01	t=1.56
	No	1.09	1.83	1.30	1.80	1.25	1.81	
Occupation	Agriculture	1.16	1.82	1.21	2.19	1.18	1.97	F=18.29**
	Fishing	1.79	1.69	1.94	1.67	1.87	1.68	
	Service	0.92	1.85	1.21	1.94	1.07	1.92	
	Business	0.73	1.61	0.84	1.86	0.79	1.74	
	Labors or Housekeeping	0.96	2.06	1.22	1.74	1.15	1.83	
Total	1.11	1.93	1.27	1.90	1.20	1.92	t=-2.37*	

\* p&lt;0.05, \*\* p&lt;0.01; GM, geometric mean; GSD, geometric standard deviation

로 관찰되었다. 조사대상자의 거주지역에 따른 평균 1일 총 식이섭취량의 유의한 차이는 관찰되지 않았으나 일부 식품 즉, 농촌지역에서는 곡류와 버섯류의 섭취량이 다른 지역 조사대상자들에 비해

상대적으로 많았고, 도시지역에서는 난류와 유류 등의 섭취량이 상대적으로 많았으며 어촌지역에서는 어패류의 섭취량이 다른 지역에 비해 많았으나 육류와 채소류 및 우유 등의 섭취량은 상대적으로

**Table 6.** Pearson correlation coefficients between blood cadmium and body iron parameters

	BCd	sFe	UIBC	TIBC	Ferritin
BCd	1.0000	-0.1001*	0.0140	-0.0732	0.0963*
sFe		1.0000	-0.5394**	0.2741**	0.3090**
UIBC			1.0000	0.6619**	-0.3425**
TIBC				1.0000	-0.1161**
Ferritin					1.0000

\* p&lt;0.05, \*\* p&lt;0.01

적은 것으로 관찰되었다.

#### 4. 혈중 카드뮴 농도

조사대상자들의 역학적 요인에 따른 평균 혈중 카드뮴 농도는 Table 5와 같다. 즉, 이번 조사대상자들의 혈중 카드뮴의 기하 평균치는 1.20 µg/L(기하 표준편차 1.92 µg/L)이었고, 성별로는 남자 1.11 µg/L, 여자 1.27 µg/L로서 여자가 남자보다 더 높았다(p<0.05). 조사대상자들의 연령에 따른 혈중 카드뮴 농도는 30세 미만에서는 0.64 µg/L(남자 0.63 µg/L, 여자 0.65 µg/L), 30~44세에서는 0.95 µg/L(남자 0.95 µg/L, 여자 0.95 µg/L), 45~59세에서는 1.28 µg/L(남자 1.17 µg/L, 여자 1.37 µg/L), 60세 이상에서는 1.31 µg/L(남자 1.17 µg/L, 여자 1.43 µg/L)로서 연령이 증가됨에 따라 혈중 카드뮴 농도도 증가되는 양상으로 관찰되었다(p<0.01). 거주 지역별로는 해안지역 조사대상자의 평균 혈중 카드뮴 농도가 1.80 µg/L(남자 1.73 µg/L, 여자 1.85 µg/L)로서, 도시지역 1.01 µg/L(남자 0.81 µg/L, 여자 1.14 µg/L) 및 농촌지역 0.90 µg/L(남자 0.86 µg/L, 여자 0.92 µg/L)에 비해 높은 것으로 관찰되었다(p<0.01).

조사대상자의 흡연력에 따른 혈중 카드뮴 농도는 남자의 경우 현재 흡연군과 과거 흡연군에서 각각 1.44 µg/L 및 1.12 µg/L로서 비흡연군의 0.76 µg/L보다 높았다. 여성에서는 과거 흡연군에서 혈중 카드뮴 농도가 1.74 µg/L로 비흡연군(1.26 µg/L) 및 현재 흡연군(1.27 µg/L)보다 높았으나 흡연자의 수가 매우 제한적이었다. 음주력에 따른 혈중 카드뮴 농도는 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다. 혈중 카드뮴 농도는 조사대상자들의 직업군에 따라서도 차이가 있어서 어업종사자(1.87 µg/L)에서 혈중 카드뮴 농도가 높게 나타났으며 농업(1.14 µg/L), 그리고 서비스업(1.04 µg/L) 순이었다.

**Table 7.** Relations between blood cadmium and food intakes

Foods	Blood cadmium
Cereals	-0.0434
Potatoes & Starches	0.1175**
Sugars & Sweeteners	-0.0580
Nuts & Seeds	-0.0895*
Vegetables	-0.1103**
Fruits	-0.0380
Meats	-0.1029*
Eggs	-0.0546
Fish & Shellfish	0.0954*
Seaweeds	-0.0524
Mushrooms	-0.0463
Milks	-0.1085*
Alcohol & Beverages	-0.0434
Oils	-0.0901*
Seasonings	-0.0932*

\* p&lt;0.05, \*\* p&lt;0.01

#### 5. 혈중 카드뮴 농도와 체내 철 수준의 관련성

조사대상자들의 혈중 카드뮴과 체내 철 수준을 반영할 수 있는 혈액지표들과의 관련성은 Table 6과 같다. 즉, 조사대상자들에 있어서 혈중 카드뮴 농도는 혈청 총 철과는 음의 상관관계가 있었고(p<0.05), 혈청내 ferritin 농도와는 양의 상관관계가 있는 것으로 관찰되었다(p<0.05).

#### 6. 혈중 카드뮴 농도와 식이와의 관련성

조사대상자들의 식이조사에서 얻은 각 식품군별 섭취량과 혈중 카드뮴 농도와의 관련성을 조사한 결과, 혈중 카드뮴 농도는 감자 등 전분류와 어패류 섭취량과는 양의 상관관계가 있으며, 육류, 야채류, 우유 등의 섭취량과는 음의 관계가 있는 것으로 관찰되었다(Table 7).

## 고 찰

카드뮴의 신장에 미치는 독성작용에 대해서는 Prodan (1932)이 처음 기술하였다. 이후 Friberg (1950)가 알칼라인 축전지 공장근로자에서의 폐기종과 신기능장애를 보고한 이래 산업장 근로자들에서 직업적 노출에 의한 급, 만성 카드뮴중독의 예는 다수 보고 되었으며, 카드뮴에 오염된 지역에 거주한 일반 주민들에서도 중독된 예가 보고된 적이 있다(Tsuchiya, 1969; Kido *et al.*, 1992). 미량의 카드뮴에 의해 만성적으로 노출되고 있는 산업장 근로자나 카드뮴 오염지역에 거주하는 지역주민의 경우 카드뮴에 의한 건강장해의 주요 표적장기는 신장, 폐, 뼈 등이다. 이 중 신기능장애가 카드뮴의 만성 독성에 의한 건강장해의 조기지표로 널리 알려져 있다(WHO, 1992).

국내에서도 직업적인 노출인 경우 수년전 도금업체에서 근무하는 근로자의 카드뮴중독에 의한 직업병 판정에 대한 논란이 제기된 바가 있을 뿐만 아니라 카드뮴 취급 사업장에 종사하고 있는 다수의 근로자들이 있으며(조수현 등, 1991; 강성규 등, 1995; 노동부, 2004), 비직업적인 노출로서는 폐광된 금속광산 인근지역에 거주하는 주민들에서 카드뮴중독의 현증 환자는 관찰되지 않았으나 혈액과 요중 카드뮴이 다른 지역 주민들에 비해서 높게 나타난 보고가 있어(박정덕 등, 1998; 정종학 등, 2005; Kim *et al.*, 2008) 미량의 카드뮴에 만성적으로 노출됨으로 인해 생길 수 있는 건강장해에 대한 관심이 비교적 높은 편이다.

농촌지역, 해안지역 및 도시지역으로부터 임의 선정한 566명(남자 235명, 여자 331명)을 대상으로 혈중 카드뮴 농도를 분석한 이번 연구에서 조사대상자들의 혈중 카드뮴 농도는 1.20 µg/L 이었고, 성별로는 남자 1.11 µg/L, 여자 1.27 µg/L이었다. 국내 일반인을 대상으로 한 기존의 연구보고서 중, 일반인에 있어 혈중 카드뮴 농도를 조사한 연구로는 1986년에 농촌지역으로서 여주에서 46명의 여성을 대상으로 한 보고(Watanabe *et al.*, 1987)와 1994년 조사에서 대도시, 중소도시 및 농촌지역 등 국내 4개 지역(서울, 천안, 함안, 부산)을 대상으로 한 보고(Moon *et al.*, 1995)와 2000년에 부산지역에서 38명의 중년 여성을 대상으로 조사된 보고(Moon *et*

*al.*, 2003) 및 국민 혈중의 중금속 농도 조사·연구(환경부, 2005) 등이 있다. 각각의 연구에서의 혈중 카드뮴의 농도는 기하 평균치에서 1.45 µg/L, 1.27 µg/L, 2.74 µg/L 및 1.52 µg/L로서 1.27~2.74 µg/L의 범위로 본 연구 결과와 비슷하거나 다소 높은 범위를 나타내었다. 일반인의 경우 카드뮴에 의한 노출은 대부분(75~99%) 식이섭취를 통하여 소화기계를 거쳐 이루어지는 것으로 알려져 있다(문찬석, 2007). 즉, 직업적이나 오염된 환경으로부터 카드뮴에 특별히 노출되지 않은 일반인을 대상으로 한 결과에서는 경구로 섭취하는 카드뮴의 농도에 큰 변화가 없는 한 혈중 카드뮴 농도 역시 크게 변하지 않을 것으로 사료된다. 동아시아 주요 국가들의 일반 인구집단에서의 혈중 카드뮴의 수준은 일본의 경우 1.9 µg/L, 중국 0.61 µg/L, 타이완 1.1 µg/L, 말레이시아 0.7 µg/L, 태국 0.41 µg/L, 필리핀 0.47 µg/L로서 지역(국가) 간에 차이가 있었으나 평균 혈중 카드뮴 농도가 3 µg/L 이하였으며, 또한 WHO에서 정상인의 혈중 카드뮴 농도의 정상범위를 2 µg/L 이하로 제시된 바 있다(WHO, 1992). 본 연구에서의 혈중 카드뮴은 일본보다는 낮았으며 타이완과는 비슷하였으나 다른 국가들보다는 다소 높은 수준을 보였다. 이는 보고된 각 국가별 카드뮴의 섭취량을 볼 때 일본의 경우는 1일 카드뮴 섭취량이 30 µg/day로 가장 높은 섭취량을 나타내었으며 중국 8.8 µg/day, 타이완 10 µg/day, 말레이시아 7 µg/day, 태국 7.1 µg/day, 필리핀 14.2 µg/day로서 혈중 카드뮴 농도는 음식물에 의한 카드뮴 섭취량과 대응하는 농도 수준으로서 식품을 통한 섭취량의 차이가 한 요인으로 작용할 수 있을 것으로 사료된다(Ikeda *et al.*, 1996; Moon *et al.*, 1996; Watanabe *et al.*, 1996; Zhang *et al.*, 1998; Zhang *et al.*, 1999a, b). 이번 연구에서는 카드뮴 섭취에 대한 조사가 진행되지 못해 카드뮴섭취량을 비교하지 못한 제한점이 있다.

이번 연구에서 조사대상자들의 역학적 요인에 따른 평균 혈중 카드뮴 농도를 분석한 결과, 조사대상자들의 주거지역에 따라 차이가 있는 것으로 관찰되었다. 즉, 해안지역 주민들의 혈중 카드뮴 농도가 도시와 농촌지역 대상자들에 비해 높았다. 조사대상자들의 성별에 따른 평균 카드뮴 농도는 여자가 남자보다 높았으며, 연령이 높아짐에 따라 카드뮴 농도 역시 높아지는 추세를 보였다. 개인의 생

활습관과 관련되어서는 흡연력이 있는 사람이 비흡연자에 비해 혈중 카드뮴 농도가 높은 것으로 관찰되었다. 조사대상자들의 직업군에 따른 혈중 카드뮴 농도는 어업종사자에서 가장 높았다.

거주 지역에 따른 혈중 카드뮴 농도 차이는 생활 환경에 따른 차이를 하나의 요인으로 생각할 수 있으며 이는 어패류 등 해산물을 통한 카드뮴 섭취가 카드뮴 노출의 한 요인으로 관여할 가능성을 제기한다. 어패류 섭취와 혈중 카드뮴 농도와의 관련성을 평가하기 위해서는 해당 지역의 해수와 어패류의 카드뮴 오염수준에 대한 평가가 우선적으로 요구된다. 그러나, 이번 연구에서 다량의 어패류를 섭취하는 생활 행태를 가지는 직업군에 해당되는 어업종사자에서 혈중 카드뮴 농도가 높게 관찰된 것으로도 일부 설명될 수 있다. 또한, Hovinga *et al.* (1993)은 미국 Great Lakes 어류를 섭취하는 생활 행태의 사람들에서 그렇지 않은 사람들에 비해 혈중 카드뮴이 높다는 본 연구와 비슷한 결과를 보고하였다. 일부 연구에서는 채식주의자가 그렇지 않은 사람에 비해 혈중 카드뮴 농도가 더 높으며, 채식을 엄격히 할수록 혈중 카드뮴 농도가 높아진다는 보고가 있어 (Krajcovicova-Kudladkova *et al.*, 2006) 이에 대해서는 향후 좀 더 추가적인 연구가 요구된다.

여자에서 남자보다 혈중 카드뮴 농도가 높게 나타난 것은 체내 철 수준과 일부 관련이 있는 것으로 사료된다. 철이 결핍될 경우 카드뮴 흡수는 증가되며 이는 소장에서 철 흡수 기전의 하나로서 철 결핍시 장관 내 상피세포의 apical portion에 분포하는 divalent metal transporter 1 (DMT1)과 basolateral portion에 분포하는 metal transporter protein 1 (MTP1)의 발현이 증가되고 이들 금속이동단백질을 통해 장관내로부터 장관 상피세포내로, 장관 상피세포에서 혈액내로 철이 흡수, 이동되는데 카드뮴의 흡수도 이들 금속단백질을 통해 증가됨이 보고 (Park *et al.*, 2002; Ryu *et al.*, 2004)된 바 있다. 또한 용혈성 및 철 결핍 빈혈동물에서 카드뮴의 흡수와 조직내 축적의 증가 (Min *et al.*, 2008)와 역학 조사에서 철 결핍이 있는 사람에서의 혈중 카드뮴 농도가 증가된 보고 (Flanagan *et al.*, 1978) 등은 체내에서 철과 카드뮴의 상호작용이 있음을 시사하는 자료들이다. 따라서 임신과 정기적인 출혈 등으로 인해 상대적으로 체내 철이 부족한 여자에서 남

자보다 카드뮴 흡수량의 증가로 인한 혈중 카드뮴의 증가가 이번 조사에서 남자보다 여자에서 혈중 카드뮴 농도가 높게 관찰된 한 요인으로 일부 설명될 수 있다. 즉, 혈청 철 양이 감소하면 철 운반단백질인 ferritin의 농도가 증가됨으로 혈중 카드뮴은 혈청 철 수준과는 음의 상관성이 있으며, ferritin 농도와는 양의 관련성이 나타나는 것으로 이해된다.

이번 연구에서 연령에 따른 혈중 카드뮴 농도는 연령에 따라 증가하는 양상을 보였다. 이는 카드뮴이 체내 축적 효과가 있으며 반감기가 20~30년으로 매우 길기 때문에 나타나는 현상으로 보이며, 연령에 따른 코호트 효과로 일부 설명이 되기도 한다 (Baecklund *et al.*, 1999). 개인의 생활 행태로서 흡연과 관련되어서는 흡연력이 있는 조사대상자에서 흡연력이 없는 조사대상자보다 혈중 카드뮴 농도가 더 높게 나타났다. 이는 흡연이 비직업적 카드뮴 노출의 주요한 원인이라는 이전의 보고 (신주연 등, 2004; Satarug and Moore, 2004)와 일치하는 결과로서 특별히 직업적으로 카드뮴에 노출되지 않는 일반인에 있어서 흡연은 호흡기계를 통한 카드뮴 노출의 한 원인이 되고 있음을 지지한다.

요약하면, 이번 연구결과에서 직업적으로 특별히 카드뮴에 노출되지 않은 일반인구 집단에 있어서 혈중 카드뮴은 인적요인(성별, 연령 등) 뿐만 아니라 개인 생활행태(흡연, 식이 등) 및 영양상태(체내 철 수준)에 의해 영향을 받을 수 있음을 시사한다.

## 결 론

한국 성인이 일상생활을 통해 노출되는 카드뮴에 대한 노출지표로서 혈중 카드뮴을 분석하여 거주지역 및 생활행태에 따른 차이를 파악하고 아울러 혈중 철 수준과의 관계를 분석하였다. 이번 조사대상자들의 평균 혈중 카드뮴 농도는 1.20 µg/L 이었고, 성별로는 남자(1.11 µg/L)보다 여자(1.27 µg/L)에서 높았다. 거주 지역별로는 해안지역 조사대상자의 평균 혈중 카드뮴 농도가 1.80 µg/L로서, 도시지역 1.01 µg/L 및 농촌지역 0.90 µg/L에 비해 높은 것으로 관찰되었다. 연령대별 혈중 카드뮴 농도는 20세 미만에서는 0.64 µg/L, 30~44세에서는 0.95 µg/L, 45~59세에서는 1.28 µg/L, 60세 이상에서는 1.31 µg/L로 측정되어, 연령이 증가됨에 따라



혈중 카드뮴 농도도 증가되는 양상으로 관찰되었다. 조사대상자의 흡연력에 따른 혈중 카드뮴 농도는 현재 또는 과거 흡연군에서 비흡연군에 비해 높았으나, 음주력에 따른 혈중 카드뮴 농도는 차이가 없었다. 혈중 카드뮴 농도는 조사대상자들의 직업군에 따라서도 차이가 있어서, 전체적으로는 어업종사자(1.87  $\mu\text{g/L}$ )에서 혈중 카드뮴 농도가 높게 나타났다. 또한 조사대상자들에 있어서 혈중 카드뮴 농도는 혈청 총 철 양과는 음의 상관관계가 있었으나 ferritin 농도와는 양의 상관관계가 있는 것으로 관찰되었다.

이상의 연구결과를 종합해 볼 때, 우리나라 성인의 경우 카드뮴에 대한 노출은 다른 아시아 국가에 비해 높지 않은 것으로 평가되며, 나이나 성별 등 유전적 요인뿐만 아니라 식이와 흡연 등 생활행태 및 체내 철 수준과 같은 영양상태 등의 환경적 요인들이 복합적으로 혈중 카드뮴 농도에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2007년도 중앙대학교 학술연구비(일반연구비) 지원에 의한 것입니다.

## 참고 문헌

- 강성규, 양정선, 김기웅, 장재연, 정호근. 우리나라 카드뮴 폭로 근로자들의 혈중, 요중 카드뮴과 누적폭로 추정량에 따른 신장장애 평가, 대한산업의학회지 1995; 7: 101-110.
- 노동부. 2003년 근로자 건강진단 실시결과, 2004; 노동부.
- 문찬석. 우리나라 일부 여성의 카드뮴과 납 섭취량 및 노출경로 평가, 한국환경보건학회지 2007; 33: 353-358.
- 박정덕, 박찬병, 최병신, 강은용, 홍연표, 장임원, 천병렬, 예민혜. 폐광지역 주민의 요중 카드뮴 농도와 신기능평가, 예방의학회지 1998; 31: 424-439.
- 신주연, 임중환, 박신고, 이지나, 장 미, 허청송, 강대회, 홍윤철. 흡연이 대학생들의 혈중 카드뮴 농도에 미치는 영향, 예방의학회지 2004; 37: 225-231.
- 정중학, 강복수, 김창윤, 이경수, 황태윤, 김규태, 박중서, 박시영, 김대섭, 임우택, 사공준. 경상북도 일부 폐금속광산 인근 지역 주민들의 혈중 연, 요중 카드뮴 농도 및 건강영향조사, 대한산업의학회지 2005; 17: 225-237.
- 조수현, 김 현, 김선민. 아연 용융 도금작업 근로자의 카드뮴폭로 가능성에 관한 조사연구, 대한산업의학회지 1991; 3: 153-164.
- 환경부. 국민 혈중의 중금속 농도 조사·연구, 2005; 환경부.
- Baecklund M, Pedersen NL, Bjorkman L and Vahter M. Variation in blood concentration of cadmium and lead in the elderly, Environ Res 1999; 80: 222-230.
- Elinder CG. Biological monitoring of cadmium. In: Biological Monitoring of Exposure to Chemicals. Metals, 1991; pp. 197-207, John Wiley & Sons, New York.
- Flanagan PR, McLellan JS, Haist J, Cherian MG, Chamberlain MJ and Valberg LS. Increased dietary cadmium absorption in mice and human subjects with iron deficiency, Gastroenterology 1978; 74: 841-846.
- Friberg L. Health hazards in the manufacture of alkaline accumulators with special reference to chronic cadmium poisoning, Acta Med Scand 1950; 138: 1-124.
- Hovinga ME, Sowers M and Humphrey HEB. Environmental exposure and lifestyle predictors of lead, cadmium, PCB, and DDT levels in Great Lakes fish eaters, Arch Environ Health 1993; 48: 98-104.
- Ikeda M, Zhang ZW, Moon CS, Imai Y, Watanabe T, Shimbo S, Ma WC, Lee CC and Guo YL. Background exposure of general population to cadmium and lead in Tainan City, Arch Environ Contam Toxicol 1996; 30: 121-126.
- International Agency for Research on Cancer. Cadmium and cadmium compound. IARC Monographs On the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Human, 1993; vol. 58, 119-237, IARC Sci Publ, Lyon.
- Itokawa Y, Abe T and Tanaka S. Bone changes in experimental chronic cadmium poisoning: Radiological and biological approaches, Arch Environ Health 1973; 26: 241-244.
- Jung K, Pergande M, Graubaus HJ, Fels LM, Endl U and Stolte H. Urinary proteins and enzymes as early indicators of renal dysfunction in chronic exposure to cadmium, Clin Chem 1993; 39: 757-765.
- Kido T, Nogawa K, Ohmichi M, Honda R, Tsuritani I, Ishizaki M and Yamada Y. Significance of urinary cadmium concentration in a Japanese population environmentally exposed to cadmium, Arch Environ Health 1992; 47: 196-202.
- Kim S, Kwon HJ, Cheong HK, Choi K, Jang JY, Jeong WC, Kim DS, Yu S, Kim YW, Lee KY, Yang SO, Jung IJ, Yang WH and Hong YC. Investigation on health effects of an abandoned metal mine, J Korean Med Sci 2008; 23: 452-458.

- Krajcovicova-Kudladkova M, Ursinyova M, Masanova V, Bederova A and Valachovicova M. Cadmium blood concentrations in relation to nutrition, *Cent Eur J Public Health* 2006; 14: 126-129.
- Min KS, Iwata N, Tetsutikawahara N, Onosaka S and Tanaka K. Effect of hemolytic and iron-deficiency anemia on intestinal absorption and tissue accumulation of cadmium, *Toxicol Lett* 2008; 179: 48-52.
- Moon CS, Zhang ZW, Shimbo S, Watanabe T, Moon DH, Lee CU, Lee BK, Ahn KD, Lee SH and Ikeda M. Dietary intake of cadmium and lead among the general population in Korea, *Environ Res* 1995; 71: 46-54.
- Moon CS, Zhang ZW, Watanabe T, Shimbo S, Osmail NH, Hashim JH and Ikeda M. Non-occupational exposure of Malay women in Kuala Lumpur, Malaysia, to cadmium and lead, *Biomarkers* 1996; 1: 81-85.
- Moon CS, Paik JM, Choi CS, Kim DH and Ikeda M. Lead and cadmium levels in daily foods, blood and urine in children and their mothers in Korea, *Int Arch Occup Environ Health* 2003; 76: 282-288.
- Park JD, Cherrington NJ and Klaassen CD. Intestinal absorption of cadmium is associated with divalent metal transporter 1 in rats, *Toxicol Sci* 2002; 68: 80-87.
- Prodan L. Cadmium poisoning. II. Experimental cadmium poisoning, *J Ind Hyg Toxicol* 1932; 14: 174-196.
- Ragan HA. Effects of iron deficiency on the absorption and distribution of lead and cadmium in rats, *J Lab Clin Med* 1977; 90: 700-706.
- Roels H, Bernard AM, Cardenas A, Buchet JP, Lauwerys RR, Hotter G, Ramis I, Mutti A, Franchini I, Bundschuh I, Stolte H, De Broe ME, Nuyts GD, Taylor SA and Price RG. Markers of early renal changes induced by industrial pollutants. III. Application to workers exposed to cadmium, *Br J Ind Med* 1993; 50: 37-48.
- Ryu DY, Lee SJ, Park DW, Choi BS, Klaassen CD and Park JD. Dietary iron regulates intestinal cadmium absorption through iron transporters in rat, *Toxicol Lett* 2004; 152: 19-25.
- Satarug S and Moore MR. Adverse health effects of chronic exposure to low-level cadmium in foodstuffs and cigarette smoke, *Environ Health Perspec* 2004; 112: 1099-1103.
- Shaikh ZA, Tohyama C and Nolan CV. Occupational exposure to cadmium: effect on metallothionein and other biological indices of exposure and renal function, *Arch Toxicol* 1987; 59: 360-364.
- Subramanian KS and Meranger JC. A rapid electrothermal atomic absorption spectrophotometric method for cadmium and lead in human whole blood, *Clin Chem* 1981; 27: 1866-1871.
- Tsuchiya K. Causation of ouch-ouch diseases, part II. Epidemiology and evaluation, *Keio J Med* 1969; 18: 195-211.
- Watanabe T, Cha CW, Song DB and Ikeda M. Pb and Cd levels among Korean populations, *Bull Environ Contam Toxicol* 1987; 38: 189-195.
- Watanabe T, Nakatsuka H, Shimbo S, Iwami O, Imai Y, Moon CS, Zhang ZW, Iguchi H and Ikeda M. Reduced cadmium and lead burden in Japan in the past 10 years, *Int Arch Occup Environ Health* 1996; 68: 305-314.
- W.H.O. Kinetics and metabolism in laboratory mammals and humans. In *IPCS Environmental Health Criteria 134 Cadmium*, 1992; 67-96, Geneva.
- Zhang ZW, Qu JB, Watanabe T, Shimbo S, Moon CS and Ikeda M. Exposure of citizen in China and in Japan to lead and cadmium: a Comparative study, *Toxicol Lett* 1999a; 108: 167-172.
- Zhang ZW, Shimbo S, Watanabe T, Srianjata S, Banjong O, Chitchumroonchokchai C, Nakatsuka H, Matsuda-Inoguchi N, Higashikawa K and Ikeda M. Non-occupational lead and cadmium exposure of adult women in Bangkok, Thailand. *Sci Total Environ* 1999b; 226: 65-74.
- Zhang ZW, Subida RD, Agetano MG, Nakatsuka H, Inoguchi N, Watanabe T, Shimbo S, Higashikawa K and Ikeda M. Non-occupational exposure of adult women in Manila, the Philippines, to lead and cadmium, *Sci Total Environ* 1998; 215: 157-165.