

특 집

식품관련 위해물질



## 식품의 중금속 오염 현황과 관리방안

윤 기 선

경희대학교 식품영양학과

중금속은 인류가 금속을 이용하기 시작하면서 위험인자로 대두되기 시작하여 산업화 과정과 함께 환경오염을 초래하였고 나아가 식품을 오염시키는 원인물질로 작용함으로써 인간의 건강을 위협하기에 이르렀다. 중금속은 체내에서 분해되기 어렵고 배출이 쉽지 않아 생물에 축적되면 먹이 연쇄를 따라 농축되므로 먹이사슬의 최종소비자인 사람에게 식품의 중금속 오염은 심각한 문제다. 특히 수은, 납, 카드뮴은 식품 중에서 공통적으로 볼 수 있는 독성물질로 생체조직과 강한 결합을 하여 생체 내에 축적되어 천천히 제거되는 유해물질이다. 본문에서는 국내·외의 연구결과를 토대로 식품의 중금속 오염현황, 위해성, 관리방안에 대해 살펴보고자 한다.

### I. 식품의 중금속 오염현황

금속원소는 미량으로 인체에 반드시 필요한 철, 아연, 구리, 코발트와 극히 미량일지라도 독성이 강해 인체에 나쁜 영향을 미치는 것으로 비소, 카드뮴, 수은, 납으로 크게 분류할 수 있다. 특히 비소, 카드뮴, 수은, 납은 생물체 본래의 구성성분이 아니고 동물의 생육과정이나 식품의 제조 가공 중에 외부에서 오염되어 들어가는 환경 오염성 중금속이라고 한다. 1974년 FAO/WHO 합동회의에서 중금속 중 특히 수은, 카드뮴, 납, 비소 등을 우선순위로 다루기 시작하며 식품오염물질의 현황

조사와 방지대책수립이 이루어지기 시작했다. 특히 UNEP(United Nations Environment Programme)에 의해 설립된 GEMS(Global Environment Monitoring System)의 일환인 FAO/WHO 합동 식품오염물질 모니터링사업은 세계 각국의 식품에 함유된 중금속 등 오염물질의 함량에 대한 자료를 수집, 평가하여 이에 대한 지침을 전파함으로써 적절한 식품규제나 관리방법을 도와주고 있다. 또한 이러한 정보 등은 FAO/WHO 합동 식품규격 위원회(The Joint FAO/WHO Codex Alimentarium Commission)에 제공되는 식품 중 오염물질의 기준설정을 위한 국제규격 작업을 지원하고 있다.

Table 1은 1967년부터 2000년까지 한국 식품에서 중금속을 모니터링한 연구를 요약 정리한 내용이다. Table 2는 비소, 카드뮴, 수은, 납의 4 가지 중금속원소의 함량에 대해 1970년부터 1990년까지 연차적 변화추세를 분석한 결과이다. 분석 결과에 따르면 1970년대에 비해 평균농도가 감소한 것으로 나타났으나 분석 당시 존속하던 국내식품의 중금속 기준과 비교 시 최고치는 기준을 초과했다. 국내에서는 1980년대에 들어서 유해중금속에 대한 분석이 활발하게 진행되었는데 식품항목에 따라 조사된 중금속 연구결과를 살펴보면 당류, 새우젓, 젓갈, 영지버섯, 민물어류와 패류, 해산어류, 수산물, 소금, 다류, 과일류, 음료, 서류 및 구근류, 곡류, 인삼 제품류, 갑각류, 채소류, 두부류 및 묵류, 해조류, 켄 오렌지 주스, 과일 통조림, 대중음식, 식품첨가물, 농산물 통조림, 가공식품, 농산물, 수산물 기름 담금 통조림 식품, 식품 포장재, 가공식품, 김치 등이 있다. 국내에서 조사된 식품의 유해중금속 함량 결과 중 식품별 최근 자료를 정리해보면 다음과 같다.

Table 1. Summary of monitoring data on heavy metals in Korean foods(5-years interval)

Period	No. of reports	No. of analyzed samples				
		Cd	Hg	Pb	As	Total
1967~1970	7	0	558	136	192	558
1971~1975	23	681	1,074	737	738	1,250
1976~1980	17	678	553	411	70	922
1981~1985	30	1,222	1,975	1,898	391	3,058
1986~1990	44	4,064	3,007	3,955	2,017	4,430
1991~1995	8	1,887	1,887	1,828	1,828	1,887
1996~2000	14	3,866	3,866	3,866	2,936	4,028
Total	143	12,398	12,920	12,831	8,172	16,133

Table 2. Trend analysis of heavy metal concentrations by food group

Food group	As	Cd	Hg	Pb
Marine fishes	-0.33	-0.036	-0.062	-0.33
Coastal shellfishes	-0.67	0	-0.065	-0.35
Fresh water fishes	no data	-0.014	-0.026	-0.25
Cereal grains	-0.007	-0.031	-0.015	-0.17

\* Minus means a decreasing trend in mean values by the progress of year

2003년 총 696 건의 식품 및 가공식품의 중금속 함량을 조사한 결과에 따르면 통조림 식품은 납 0.1 mg/kg, 카드뮴 0.04 mg/kg, 주석 2.60 mg/kg 을 평균적으로 포함하고 있었고 육류 및 어패류 중 평균 중금속 함량은 납 0.40 mg/kg, 카드뮴 0.03 mg/kg 이었으며 채소류에서는 납 0.03 mg/kg, 카드뮴 0.02 mg/kg, 수은 0.001 mg/kg 으로 나타났다. 꽃게, 새우 등의 갑각류를 통해 섭취하게 되는 중금속의 함량도 FAO/WHO에서 설정한 PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake : 잠정주간 섭취허용량)의 1% 미만으로 나타났다. 또한 어류 및 어류 통조림의 평균 수은 함량은 각각 0.08 mg/kg, 0.04 mg/kg 으로 국내의 조사결과와 비슷한 수준을 나타내었다. 국내 수산시장에서 판매되는 수산물, 갑각류에서 조사한 중금속 함량 분석 결과에 따르면 수은, 카드뮴, 납 순으로 함량이 높았고 수은은 패류에서 특히 미꾸라지와 꼬막에서 가장 높은 함량을 나타냈으며, 납의 경우 미꾸라지, 빙어, 바지락, 뱀장어 순으로 높았다. 카드뮴의 경우는 패류 중 꼬막에서 가장 높은 함량을 보였다. 남해안의 패류양식장에서 채취한 굴, 진주담치, 바지락, 피조개의 중금속 함량 최고치의 경우에도 허용기준치를 초과하지 않는 것으로 나타났으나

카드뮴의 경우 굴이 진주담치 보다 2배의 축적율을 나타내어 품종에 따른 차이를 보였다. 또한 유통 중인 해산어류의 부위별 중금속 분석 결과에서는 간에서 중금속과 어종에 상관없이 가장 높은 중금속함량을 보였다. 국내에서 유통되는 과일류, 딸기, 참외, 복숭아, 사과, 수박, 포도, 감, 귤, 배의 중금속 함량을 조사한 결과에서도 수은 0.001 mg/kg, 납 0.013 mg/kg, 카드뮴 0.006 mg/kg, 비소 0.017 mg/kg 이었으며 우리나라 국민이 과일을 통해 섭취하는 유해중금속량은 PTWI 의 약 1~2% 수준으로 나타났으며 음료를 통한 중금속 섭취량도 PTWI 의 0.01~0.06% 이하로 보고되었다. 인삼 및 인삼제품류 8종 100건에 대한 중금속 함량을 조사 연구결과에 따르면 비소는 검출되지 않고 수은, 납, 카드뮴이 검출되었으나 검출된 양은 각각 PTWI 의 0.003%, 0.01%, 0.02%로 매우 낮다. 또한 최근 175건의 두부류와 묵류 총 43건에 대한 중금속 함량 연구결과에 따르면 수은 0.1~1.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 납 ND-90.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 카드뮴 ND-31.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 비소 ND-3.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 우리나라 국민이 두부류 및 묵류를 통한 수은, 납, 카드뮴 섭취량은 PTWI 의 각각 0.02%, 0.3%, 0.3% 이하 수준이었다. 김, 파래, 미역, 다시마 등 해조류의 중금속 함량 결과에서도 대부분 생산지의 해조류에서 중금속이 검출되고 지역 및 중금속 종류에 따라 차이가 있었으나 실험에 사용한 해조류의 99%가 안전한 수준으로 나타났다.

우리나라 국민의 1일 식품 섭취량 중 곡류가 차지하는 비율이 가장 높다. 따라서 곡류에 중금속이 오염되어 있을 경우 문제가 될 수 있다. 최근 조사결과에 따르면 곡류에서는 수은 0.007 mg/kg, 납 0.13 mg/kg, 카드뮴 0.023 mg/kg, 비소 0.09 mg/kg, 두류 중에서는 수은 0.005 mg/kg, 납 0.12 mg/kg, 카드뮴 0.03 mg/kg, 비소 0.1 mg/kg, 서류

중에는 수은 0.004 mg/kg, 납 0.08 mg/kg, 카드뮴 0.017 mg/kg, 비소 0.08 mg/kg으로 우리나라에서 생산된 곡류, 두류, 서류 등의 중금속 함량은 오염된 것이 아니라 자연함유량 수준인 것으로 파악되었다. 따라서 농산물에서 섭취하는 중금속량에 의한 위해는 없는 것으로 보고되었다. 곡류, 두류, 서류 등을 통해 섭취하는 중금속도 PTWI 의 0.2~19% 수준으로 평가되었다. 당류의 중금속 함량결과에 따르면 우리나라 국민의 납, 카드뮴, 수은의 섭취량은 PTWI 의 0.004~0.1% 로 안전한 수준이었다. 수입산과 국내산 소금에서의 납, 카드뮴, 비소, 수은의 함량도 식품위생법 규정의 기준치 이하로 보고되었다. 또한 국내산 소금과 수입산 소금의 무기질 및 중금속 함량의 차이와 이들 소금이 새우젓의 무기질 및 중금속 함량에 미치는 영향에 대한 연구 결과에 따르면, 국산천일염의 경우 납, 수은, 비소는 검출되지 않았으나 카드뮴은 식품공정의 규정 이하 (<0.05 mg)인 0.07~0.3 ppm이 검출되었다. 20종의 시판 새우젓에서도 카드뮴이 0.1 ppm의 함량을 포함하고 있었다. 다류 제품에 대하여 중금속 오염도를 조사한 결과에 따르면 수은 0.003 mg/kg, 납 0.03 mg/kg, 카드뮴 0.007 mg/kg, 비소 0.006 mg/kg으로 외국에서 보고된 결과와 비슷한 수준이었으며 우리나라 국민이 다류를 통해 섭취하는 유해중금속의 섭취량은 PTWI 의 0.1~0.2% 이하로 매우 낮은 것으로 보고되었다. 최근 들어 쌀 가격의 수입 배추김치가 단체급식소나 외식업체를 통해 대량 유통되며 안전성이 문제되고 있어 수입김치에 대한 중금속 함량 조사결과에 따르면 납과 카드뮴이 국산에서는 0.2964 mg/kg과 0.0637 mg/kg, 수입산에서는 0.3557 mg/kg과 0.0656 mg/kg으로 나타났으며 수입산과 국산김치에서 납과 카드뮴의 수준에는 유의적 차이는 없는 것으로 나타났다.

## II. 중금속의 독성과 위해성 평가

비소, 카드뮴, 수은, 납에 의한 대표적 인명피해는 일본에서 수은으로 인한 미나마타병과 카드뮴으로 인한 이타이이타이병이 알려졌으며 또한 영국에서는 맥주, 일본에서는 분유에 오염된 비소로 인한 많은 사망자를 발생시켰다. 중금속이 환경 또는 인체에 미치는 영향은 중금속의 농도와 화학 형태에 따라 결정되며 자연환경이나 생물계의 시스템에 따라 중금속의 분배계수가 달라진다. 예를 들면 광물이나 토양에서 중금속의 용해, 동식물에서 중금속의 축적(bioaccumulation) 현상으로 중금속의 적재현상이 나타나 환경오염과 생체 독성을 초래하게 된다. 문제가 되는 중금속으로 비소, 카드뮴, 수은, 납의 독성기전을 살펴보면 비소는 의약품, 안료, 방부제, 농약 등에 사용되어온 금속으로 비소 단독으로는 독성이 크지 않지만 아비산, 염화비소, 비산 칼슘 등과 같이 비소화합물이 되었을 때는 독성이 매우 크다. 중독증상은 식도가 수축되어 침을 삼키지 못하며 섭취했을 때 만성 또는 급성독성을 나타내며, 심한 복통과 구토 및 설사 등의 소화기 장애와 피부 기저 세포 암종 및 편평세포 암 종과 같은 피부암을 일으킨다. 중독량은 아비산으로 5~50 mg이고 치사량은 100~300 mg이다. 카드뮴은 주로 아연, 구리, 주석 등의 금속을 정련할 때 부산물로 얻어지며, 카드뮴을 사용하는 공장, 화학약품, 폐수를 오염시킨다. 생물체 내에서는 초기에는 간장애, 시간이 지나면 신장에 축적이 되는데 체내에서는 metallothionein 이라고 하는 단백질과 결합 독성을 나타내지 않으나 다량의 카드뮴은 metallothionein 결합체를 형성하지 못해 독성을 나타낸다. 주로 40세 이상의 여성에게 요통, 골절, 골다공증 등을 유발하는 금속으로 알려져 있다. 중독량은 5

mg/70 kg이며, 5 mg/m<sup>3</sup> 이상의 농도에 8시간 이상 노출되면 치사량에 이른다. 수은은 염화 제2수은과 유기수은이 자주 중독을 일으키는 물질로 알려져 있는데 특히 유기수은 화합물은 농약으로 사용되어 중독증상을 일으킨다. 수은은 뇌, 소뇌, 척수 등의 중추신경계에 축적되어 신경세포 장애를 일으킨다. 중독량은 5 mg/70 kg 정도이며 150~300 mg/70 kg이면 치사량이다. 납은 공장에서 발생하는 증기형태의 납을 호흡을 통해 흡수하는 경우, 농약 중의 납이 식품으로 이행되는 경우, 유약 처리된 도자기가 낮은 온도에서 구워져 납이 식품으로 이행되어 섭취하는 경우 등을 들 수 있다. 축적독성이 강한 미량금속으로서 신경, 평활근의 장애와 적혈구 주의 헤모글로빈을 감소시켜 빈혈을 유발한다. 납은 급성보다는 만성중독이 되는 경우가 많은데 납중독의 가장 큰 유해성은 중추신경계 장애로 뇌 조직에 들어가 납이 뇌세포간의 연락장애를 일으켜 심한 흥분, 정신착란, 발작 등을 일으키며 납 중독량은 1~5 mg/70 kg이며 치사량은 1,000 ppm이다.

### 1. 식이를 통한 중금속의 위해성 평가

중금속에 의한 생체영향을 생각할 때 그 원소의 노출된 양, 노출 경로, 화학형태, 다른 원소와의 관계를 생각해야 한다. 식품이나 음료수에는 거의 모든 중금속이 포함되어 있으며 중금속에 의한 유해성은 그 원소의 총 섭취량에 의해 정해진다. 중금속은 특수한 직업상의 노출을 제외하면 경구로부터 섭취하는 것이 대부분이다. 따라서 식품, 음료수 중의 중금속 함유량을 측정하는 것은 섭취량을 판단하는데 매우 중요하며 중금속의 독성을 고려할 때는 식습관의 차이에 따른 특정 원소의 체내 축적량이 달라지는 것 또한 고려되어야 한다.

1990년 이후 발표된 오염도 데이터에 근거하여 한국성인의 납과 카드뮴의 식이섭취량을 Monte-Carol simulation 모델을 이용 추정한 결과는 Table 3에 보여진다. 이 결과에 따르면 우리나라 성인은 곡류와 해산물을 통해 납의 섭취량이 가장 높고 카드뮴은 곡류, 야채, 육류 순으로 섭취량이 높은 것으로 나타났다. 또한 서울과 공단지역에 사는 한국 성인을 대상으로 납에 노출되는 양을 평가한 결과에 따르면 공단지역에 사는 성인이 서울지역보다 30% 높게 나타났다(Table 4). 특히 공단지역에서는 식품에 의해서 납에 노출되는 양이 가장 높은 것으로 조사되었다. 이 연구에서는 납에 의한 초과 발암 위험도를 조사하였는데 지역에 상관없이  $10^{-6}$ 의 risk standard를 초과하는 것으로 나타났다. 특히 공단지역이 공기와 음용수에 의한 위험도는 각각 도시지역에 비해 4.2배, 5배로 나타나 공단지역의 성인의 암에 의한 위험성은 심각한

Table 3. Dietary exposure of lead and cadmium by food groups for Korean adults in the 1990s

Food group	Pb intake ( $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ )	Cd intake ( $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ )	Contribution of exposure(mean, %)	
			Pb	Cd
Cereals	0.749	0.0840	58.1	40.2
Legumes	0.0297	0.0024	1.6	1.2
Potatoes	0.0427	0.0093	3.2	4.4
Fruits	0.0320	0.0167	2.6	8.0
Vegetables	0.0562	0.0413	4.2	19.8
Fishes	0.291	0.0174	23.1	8.3
Meats	0.118	0.0378	10.3	18.1
Oil crops	0.0013	0.0002	0.1	0.1
Total intake-Mean	1.28	0.209	36% PTWI	21% PTWI
Total intake-95 percentile	1.87	0.426	52% PTWI	43% PTWI
PTWI(day-basis)	3.6	1.0		

Table 4. Exposure of lead by media by Korean adults

(Unit :  $\mu\text{g}/\text{kgbw}/\text{day}$ )

Exposure media	Seoul area		Industrial area	
	Mean	95th percentile	Mean	95th percentile
Air	0.0134	0.0404	0.0576	0.193
Drinking water	0.0034	0.0130	0.0174	0.0586
Foods	0.167	1.08	0.167	1.08
Total	0.184	1.133	0.242	1.332
% of PTWI*	5.1%	31.5%	6.7%	37.0%

\* PTWI :  $25 \mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{wk} = 3.6 \mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$

Lead level in air and drinking water was measured in 4 season of 1997 and that in foods(cereals, fruits, vegetables and fishes) was adopted from the data of NIH in 1985,86 and 96.

것으로 조사되었다(Table 5). Table 6은 한국인의 대표식단에 의한 중금속의 식이섭취량을 분석하여 FAO/WHO의 PTWI (provisional tolerable weekly intake, 주간섭취 잠정허용량) 와 비교한 결과이다. 이 조사결과에 따르면 한국인은 비소와 수은보다는 카드뮴과 납에 의한 위해수준이 높은 것으로 나타났다. 그러나 지역에 따라 특정식단에서 이들 중금속의 섭취량이 전국 평균치를 훨씬 초과되어 위해 지수가 카드뮴과 납은 평균치의 2배, 비소와 수은은 평균치의 9배까지도 이르는

Table 5. Excess cancer risk of Korean adults by lead exposure

(Unit: Excess cancer risk,  $10^{-6}$ )

Exposure media	Seoul area		Industrial area	
	Mean	95th percentile	Mean	95th percentile
Air	0.840	2.57	3.53	11.8
Drinking water	0.214	0.814	1.08	3.49
Foods	10.6	67.2	10.6	67.2
Total	11.7	68.3	15.2	71.8

Risk standard :  $10^{-6}$

Table 6. Estimation of risk index from the total diet study of toxic metals by Korean population

Parameter	As	Cd	Hg	Pb
Mean intake (adjusted) <sup>*1,4</sup>	20.9	3.20	0.41	21.2
Maximum intake <sup>*1</sup>	106.9	7.42	3.78	32.0
PTWI <sup>*2</sup>	15(inorganic) 50(total)	7	5(total Hg) 3.3(methyl Hg)	25
Risk index (mean, adjusted) <sup>*3,4</sup>	6.0%	46.2%	8.2%	84.7%
Risk index (max)	30.5%	106.0%	75.6%	128.0%

<sup>1</sup>Dietary intake : from TDS data( $\mu\text{g}/\text{kg}$  bw/week).

<sup>2</sup>PTWI : provisional tolerable weekly intake( $\mu\text{g}/\text{kg}$  bw/week).

<sup>3</sup>Risk index in% = (dietary intake/PTWI)  $\times$  100, for total in As nad Hg.

<sup>4</sup>Adjusted on the assumption that typical diet samples consist of 68% of actual food intake by Korean population.

식단이 있음이 발견되었다. 따라서 평균치를 초과하는 지역에서의 원인이 식품원료인지, 조리 가공 중 오염되는 건지를 찾아내야함이 또한 지적되었다. 1985년~2000년까지 한국인의 중금속 섭취량 조사 결과를 정리한 내용이 Table 7에 보여진다.

Table 7. Summarized data on the risk assessment of toxic metals in Korea

Assessment items	Cd	Hg	Pb
Dietary mean intake( $\mu\text{g}/\text{kg}$ bw/wk)			
Existing reports(1980~1990)	9.0	2.4	47.9
RDA data(1980~2000)	2.20	-	22.0
KFDA data(1985~1999)	3.25	0.95	14.9
MonteCarlo simulation(1990~1998)	1.46(2.98 <sup>#</sup> )	-	9.0(13.1 <sup>*</sup> )
KFDA contract - TDS(2000)	3.20	0.41	21.2
PTWI( $\mu\text{g}/\text{kg}$ bw/wk)	7	5	25(50 <sup>#</sup> )
Risk index(% of PTWI)			
Existing reports	129	49	192(87 <sup>#</sup> )
RDA data	31	88	88(44 <sup>#</sup> )
KFDA data	46	20	60
Monte Carlo simulation	21(43 <sup>#</sup> )	-	36(52 <sup>#</sup> )
KFDA contract - TDS	46	8	85

\* 95th percentile(others are mean values), #Based on the standard before 1992

이 결과는 1980~2000년 사이에 수집한 농산물에 대한 중금속 함량과 해당식품들의 소비량을 감안, 개별 중금속의 식이섭취량을 계산한 결과와 식품별 중금속 평균농도와 국민영양조사(1995)에 나타난 식품섭취량을 토대로 한국인의 중금속 섭취량을 산출한 결과를 포함하고 있다.

국외의 중금속 식이섭취량에 관한 자료는 GEMS(Global, Environmental Monitoring System)/Food에서 80년대 이후 각국에서의 중금속의 오염상황과 식이 섭취량 정보를 제공하고 있다. 2000년 기준으로 한국인의 납 식이 섭취량은  $21 \mu\text{g}/\text{kg}$  bw/wk로 조사된 국가들 중 중위권에 속하는 것으로 나타났다. 그러나 어떤 특정 집단의 경우 최대섭취량이 평균섭취량에 비해 월등히 높은 것으로 나타났다. 카드뮴의 식이섭취량도 한국인은  $3 \mu\text{g}/\text{kg}$  bw/wk 로 조사된 국가들 중 중위권에 속했으며, 특히 동물신장과 패류에서 카드뮴의 농도가 높아 벨지움에서 1주일에 한번씩 홍합이나 동물신장을 먹는 경우 카드뮴 섭취량이 PTWI에 가까워짐이 지적되었다. 수은은 조사된 국가의 평균이  $0.2\sim 2.5 \mu\text{g}/\text{kg}$  bw/wk 였으며 일본에서는 60~70년대에는 곡류섭취를 통해 수은 섭취가 높았으나 최근은 어패류를 통한 수은의 섭취가 가장 높다.

### III. 중금속 제거 및 국내·외 관리방안

#### 1. 중금속 제거 효과 연구

최근 들어 식품을 통해 중금속을 제거 또는 해독 작용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 환경 오염성 중금속 중 특히 카드뮴 제거 효과에 대한 연구 결과가 보고 되었는데, 카드뮴은 미량으로도 생체내의 대사 장애를 일으킨다. 또한 카

드름은 생체 내에서 자유 래디칼(Free radical)에 의한 조직의 과산화적 손상을 유발하여 노화나 각종 퇴행성 질환을 일으킬 수 있다. 따라서 천연 식품 중에서 free radical scavenger 역할을 하며 동시에 카드뮴을 체외로 배설시킬 수 있는 물질 중 녹차의 tannin 성분이 주목받고 있다. Tannin 성분을 가지고 있는 차종 녹차, 우롱차 및 홍차에 의한 카드뮴 제거 효과에 따르면 catechin의 함량이 높은 녹차가 우롱차나 홍차보다 카드뮴 제거에 효과적이었으며 특히 녹차는 항산화적 해독기구를 강화시켜 카드뮴 중독으로 인한 과산화적 손상을 현저하게 완화시켰다. 또한 돼지고기의 카드뮴의 해독작용에 대한 연구가 보고 되었는데 이 연구에서는 카드뮴 중독 식이를 8주 동안 급여하여 임상적인 중독을 유발시킨 다음 다시 7주간 단백질 급원인 카제인을 돼지고기로 대체시킨 해독식이를 7주간 급여하여 돼지고기에 대한 해독효과를 비교하였다. 결과에 따르면 돼지고기 첨가군의 성장률이 높고 카드뮴 중독과 관련 낮아졌던 헤마토크릿치(Ht)가 정상범위로 회복되었다. 또한 병리조직학적 검사결과 카드뮴에 의해 손상된 세포를 의미하는 세뇨관의 호염성도 현저히 감소되어 돼지고기의 해독능력이 효과가 있음으로 평가되었다. 또한 빙잎차에 의한 음용수 중 카드뮴과 납의 제거 효과연구에 따르면 녹차보다도 험기처리 빙잎차의 카드뮴 제거 효과가 27% 높았다. 또한 납으로 오염된 음용수에서도 험기처리한 빙잎차가 납 제거율이 가장 높은 것으로 보고 되었다.

## 2. 국내·외 중금속 관리방안

우리나라에서는 식품공전에 식품중의 중금속 함량을 규제하고 있다. 중금속 함량에 대한 규격이 따로 정해져 있지 않은 식품은 시험방법에 따

라 10 mg/kg을 초과해서는 안된다. 수은은 심해성 어패와 참치류를 제외한 해산 어패류 및 담수어와 콩나물에 대해 총 수은을 각각 0.5 ppm, 0.1 ppm 이하로 규제하고 있다. 일본은 다량어류, 내수면 수역의 하천산 어패류 및 심해성 어패류를 제외한 어패류의 수은농도를 총 수은 0.4 ppm 이하, 메틸수은 0.3 ppm 이하로 규제하고 있다. 우리나라 먹는 물 관리법에서는 수은이 검출되지 않아야 되지만 미국은 0.002 mg/L, 일본은 0.0005 mg/L, 영국은 0.001 mg/L, WHO는 0.001 mg/L로 규제하고 있다. 식품공전에 따르면 납은 영유아식 중 액상주스류 제품에 대해서는 0.1 mg/kg 이하, 음료에서는 0.3 mg/kg 이하, 통조림에서는 0.3 mg/kg 이하로 납의 규제량을 엄격히 정하고 있으며 각 식품별 규제량은 Table 8과 같다.

Table 8. 식품에 대한 납 규제량

식품	납 규제량
어패류와 담수어(생물 기준)	2.0 mg/kg 이하
통조림류	0.3 mg/kg 이하
과채류 음료, 탄산음료, 혼합음료	0.3 mg/kg 이하
백설탕, 각색설탕, 흑설탕, 분말설탕, 포도당, 엿류, 당시럽류, 텍스트린, 올리고당류	1.0 mg/kg 이하
당어리설탕, 과당	0.5 mg/kg 이하
침출차	5.0 mg/kg 이하
분말차	2.0 mg/kg 이하
추출차, 과실차, 커피	2.0 mg/kg 이하
기타 영유아식(액상 주스류 제품에 한함)	0.1 mg/kg 이하
키토산 함유식품	2.0 mg/kg 이하
프로폴리스 추출물 가공식품	5.0 mg/kg 이하
인삼음료, 인삼 통 병조림, 홍삼음료	0.3 mg/kg 이하
소금	2.0 mg/kg 이하
코코아 가공품류(코코아 분말)	2.0 mg/kg 이하

카드뮴은 내부 노출지표로 노 중 카드뮴 농도를, 외부 노출 지표로는 쌀에 함유된 카드뮴의 농도를 사용하는데 1 ppm 이상의 카드뮴을 함유한 쌀은 국내에서는 매입하지 않고 있다. 또한 패류에서는 2 mg/kg 이하, 음료는 0.1 mg/kg 이하, 소금은 0.5 mg/kg 이하, 물은 0.01 mg/L (먹는물 관리법) 이하로 규정하고 있다. 비소는 캡슐류에 대한 비소함량을 1.5 mg/kg 이하, 소금은 0.5 mg/kg 이하, 일반식품에서는 고체 식품 5 mg/kg 이하, 액체식품 0.3 mg/kg 이하, 조미식품 1.5 mg/kg 이하로 규제하고 있다. Table 9는 WHO/FAO의 합동식품규격위원회에서 권고하는 식품 중 금속류의 허용량과 섭취허용량이다.

Table 9. WHO/FAO의 식품 중 금속류의 허용량과 섭취허용량

금속 종류	식품 중의 허용량 (mg/kg 식품)	섭취허용량 (mg/kg체중)
비소	1.0	2/일
구리	0.1~50	0.05~0.5/일
주석	150~250	20/일
아연	5.0	0.3~1.0/일
철	1.5~50	0.8/일
카드뮴	미정	0.0067~0.0083/주
납	0.1~2.0	0.05/주
수은	미정	총 수은 0.005/주 메틸수은 0.0033/주

미국의 FDA에서는 식품 중 독성금속에 대한 모니터링을 위해 total diet study와 compliance monitoring program을 실시하고 있다. US-FDA's total diet study (TDS)의 목적은 식품에 여러 오염물질의 수준을 측정하고 식이를 통한 섭취량을

평가하기 위한 것으로 식이를 구성하는 모든 식품의 분석을 포함하고 극단적인 섭취보다는 일반적, 평균 식이에 집중하고 있다. 최근의 TDS 프로그램에서는 미국에서 판매되고 있는 280개의 식품과 음료에서 독성금속으로 납, 카드뮴, 비소, 수은을 분석하였다. 분석된 식품은 미국 전체인구와 14살의 남녀, 유아와 어린아이들의 식이를 통해 섭취될 수 있는 유해 금속의 양을 나타낸다. 이 결과는 실제적인 섭취량이나 상한성 섭취량 측정에는 적당치 않으나 잠재적인 위해요소를 알아내고 법적인 규제의 효과를 측정하는데 사용이 되며 국제식품규격과 위해평가지지를 위해 사용되어질 수 있다. Toxic Elements Compliance Monitoring Program의 목적은 특별히 관리하여야 할 식품의 독성물질의 발생을 측정하여 지속적인 조사와 법적 제제를 위해 사용되고 있다. 조사대상 식품은 해산물과 비 해산물로 나누어지며 국내산과 수입산으로 구별하여 조사를 실시한다. 해산물에서는 납, 카드뮴, 비소, 수은을 측정하나 비 해산물에서는 납과 카드뮴만을 조사하고 있다. 스웨덴을 포함, 유럽에서는 유해 중금속에 대해 광범위한 규제 시스템을 운영하고 있다. 대부분의 동물성 식품에 대해 카드뮴과 납, 통조림제품, 민물고기, 양식 어류에 대해 수은과 비소의 maximum permitted limits (MLs, 최대허용량)을 정해놓고 규제하고 있으며 National Control Programme을 수행하도록 하고 있다. 스웨덴에서는 공식적인 식품관리를 National Food Administration (NFA)의 책임 하에 두고 있다. 유럽은 또한 Community and National Reference Laboratories (CRLs) 시스템을 운영, 유럽 멤버 국가에 대해 분석관리 기술을 개선할 수 있도록 돕는다. 중국에서는 농산물에서의 유해 중금속의 오염도를 측정하기 위해 National



Food contaminants monitoring Net과 Chinese Total Dietary Study를 수행하였다. 결과에 따르면 농산물에서의 중금속 오염은 2000년도에 비해 2005년도에는 감소하였으나 납에 의한 오염은 최대 허용수준의 5.5%를 초과하였으며 preserved eggs의 경우는 83.3%의 초과량을 보였다. 특히 해산물의 경우 카드뮴, 수은, 비소도 국가지정 수준을 초과하였다. 식이섭취에 따른 납의 섭취량도 8~12살 그룹의 경우 PTWI의 19%를 초과하였는데 이 수준은 미국인들보다 23배가 높은 수준이었다. 중국은 특히 중금속의 오염은 지역별 차이가 무척 크며 특별한 음식에 국한됨이 강조되었다. 한국의 식약청 식품 평가부 산하 식품오염물질팀은 오염물질의 규격기준, 최대허용량결정, 모니터

링을 주 업무로 수행하고 있으며, 중금속 기준설정 위원회를 구성하여 농산물의 중금속 함량 실태 조사 계획 수립에 관한 사항, 농산물의 중금속 잠정기준, 기준 및 적용범위 설정에 관한 사항을 심의하고 있다. 한국에서는 1985년~1999년에 곡류, 두류, 감자, 야채, 과일, 해산물, 설탕을 대상으로 중금속 오염현황을 모니터링 했으며 2002년도에 다시 곡류의 중금속 함량을 조사하였다. 2005년도에는 농산물의 중금속 오염상태를 농림부와 환경부의 협조 하에 농산물의 중금속 기준을 정하기 위하여 쌀, 옥수수, 콩, 팥, 고구마, 배추, 시금치, 파, 무에서 납, 카드뮴, 수은, 비소, 구리의 오염실태조사를 실시하였다. 각 식품별 식품오염물질 기준 및 규격 목록은 Table 10에 보여진다.

Table 10. KFDA 중금속 허용기준

구 분	식 품	중금속	기 준 (mg/kg)
식품일반의 규격	해산 어패류 (연체류 포함, 생물로 기준 할 때)	납	2.0 이하
	담수어(생물로 기준 할 때)	총 수은	0.5 이하 (심해성 어류, 다량어류 및 새치류 제외)
		메틸수은	1.0 이하 (심해성 어류, 다량어류 및 새치류에 한함)
	패류(생물로 기준 할 때)	카드뮴	2.0 이하
	쌀	카드뮴	0.2 이하 (현미제외)
통·병조림 식품	통조림	납	0.3 이하 (다만, 수산 통·병조림은 2.0 이하)
		주석	150 이하 (다만, 산성 통조림은 200 이하)
일반가공식품	식용유지가공품, 당류가공품	중금속	10 이하
당류	백설탕, 분말설탕, 포도당, 과당	납	0.5 이하
	갈색설탕, 흑설탕, 엿류, 덱스트린, 당시럽류, 올리고당류	납	10 이하
두부류 또는 묵류	두부류, 묵류	중금속	3.0 이하
다 류	침출차	납	5.0 이하
	분말차	납	2.0 이하
	추출차, 과실차, 커피	납	2.0 이하
		주석	150 이하 (액상 캔 제품에 한함)

음료류	과실·채소류 음료, 탄산음료류, 기타 음료	납 카드뮴 주석	0.3 이하 0.1 이하 150 이하 (탄산음료류, 기타 음료 : 캔 제품에 한함)
	분말음료	중금속	5.0 이하
특수영양식품	기타 영·유아식	납	0.1 이하 (액상 주스 제품에 한함)
인삼제품류	인삼 음료	납 주석	0.3 이하 150 이하 (홍삼 음료, 인삼 음료 : 캔 제품에 한함)
김치절임 식품	김치류	납 카드뮴	0.3 이하 0.2 이하
	코코아 가공품류	납	2.0 이하 (코코아 분말에 한함)
기타 식품류	캡슐류	비소 중금속	1.5 이하 50 이하
	재제·가공·정제소금	납 카드뮴 비소 수은	2.0 이하 0.5 이하 0.5 이하 0.1 이하
제5의 2 수산물에 대한 잠정규격	냉동식용대구머리	총 수은 납	0.5 이하 2.0 이하

#### IV. 참고문헌

- 이서래, 이미경. 국내 식품의 중금속 오염과 위험성 분석. 식품위생안전성학회지 16(4): 324-332.
- 정소영, 김미혜, 김정수, 홍무기, 이종욱, 김창민. 우리나라 당류의 중금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품과학회지 34(6): 992-997. 2002.
- 허옥순, 오상희, 신현수, 김미리. 소금 및 새우젓의 무기질과 중금속 함량 분석. 한국식품과학회지 37(4): 519-524. 2005.
- 류병호, 하미숙, 김동순, 신동분, 허호장, 정종순. 시판 젓갈류의 중금속 및 유기염소 잔유농약의 함량. 한국식품영양과학회지 15(3): 207-212. 1986.
- 하영득, 이인선. 영지버섯류의 중금속 함량. 한국식품영양과학회지 19(2): 187-193. 1990.
- 김연천, 한선희. 국내 유통 민물어류와 연안산 패류의 중금속 함량에 관한 조사. 한국식품위생안전성학회지 14(3): 305-318. 1999.
- 김인숙, 한성희. 전북 해안 지역별 패류의 중금속 함량. 한국식품영양과학회지 29(5): 758-761. 2000.
- 김지희, 임치원, 김평중, 박정흠. 우리나라 남해안산 패류의 중금속 함량. 한국식품위생안전성학회지 18(3): 125-132. 2003.
- 하강자, 송주영, 하대식. 경상남도 연안지역 어패류 중의 중금속 함량에 관한 연구-제1보. 한국식품위생안전성학회지 19(3): 132-139. 2004.
- 황영옥, 박석기. 서울에 유통 중인 해산 어류의 부위별 중금속 분석. 분석과학 19(4): 342-351. 2006.
- 성덕화, 이용욱. 우리나라 일부연안 해산 어류

- 중의 중금속 함량에 관한 연구. 한국식품위생 안전성학회지 8(4): 231-240. 1993.
12. 서화중, 홍성운, 최종환. 남해안에서 서식하는 수산물의 중금속 함량에 관한 연구. 한국식품영양과학회지 22(1): 85-90. 1993.
  13. 함희진. 서울시내 수산 시장에서 유통되는 수산물의 유해성 중금속 ( Hg , Cd 및 Pb ) 분포에 관하여. 한국식품위생안전성학회지 17(3): 146-151. 2002.
  14. 박정욱, 김선재, 김설희, 김보희, 강성국, 남상호, 정순택. 소금의 종류별 무기질 및 중금속 함량. 한국식품과학회지 32(6): 1442-1445. 2000.
  15. 정소영, 김정수, 김은정, 박성국, 김미혜, 홍무기, 김명철, 이종욱. 우리나라 다류의 중금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품과학회지 35(5): 812-817. 2003.
  16. 김미혜, 김정수, 소유섭, 정소영, 이종욱. 국내 유통 과일류 중 유해중금속 함량. 한국식품과학회지 36(4): 523-526. 2004.
  17. 김미혜, 이윤동, 김은정, 정소영, 박성국, 이종욱. 국내 유통 음료류 중 유해중금속 함량. 한국식품과학회지 35(3): 342-346. 2003.
  18. 최순남, 정남용. 서류 및 구근류의 중금속 함량. 한국식품조리과학회지 19(2):223-230. 2003.
  19. 김미혜, 장문익, 정소영, 소유섭, 홍무기. 우리나라 곡류, 두류 및 서류중 중금속 함량 및 안전성 평가. 한국식품영양과학회지 29(3): 364-368. 2000.
  20. 허수정, 김미혜, 박성국, 이종욱. 인삼 및 인삼 제품류의 중금속 함량. 한국식품과학회지37(3): 329-333. 2005.
  21. 김미혜, 이윤동, 박효정, 김은정, 이종욱. 유통 갑각류 중 중금속 함량. 한국식품과학회지 36(3): 375-378. 2004.
  22. 유춘철, 김덕웅. 국내에서 시판 중인 몇몇 채소류의 중금속에 관한 조사 연구. 한국식품영양과학회지 18(3): 254-264. 2005.
  23. 김미혜, 이윤동, 박효정, 박성국, 이종욱. 국내 유통 두부류 및 묵류 중 중금속 함량. 한국식품과학회지 37(1): 1-5. 2005.
  24. 최순남, 이상업, 정근희, 고원배. 지역별 해조류의 중금속 함량. 한국식품조리과학회지 14(1): 25-32. 1998.
  25. 이혜선, 이서래. 캔 오렌지주스의 중금속 함량 및 개봉 저장 중의 변화. 한국식품과학회지 25(2): 165-170. 1993.
  26. 위성연, 김순희. 과일 통조림 중에 함유된 중금속의 함량변화. 한국식품영양과학회지 6(4): 276-280. 1993.
  27. 김정현, 조남준, 박성배. 대중음식 중 중금속 함량. 한국식품영양과학회지 18(3): 316-320. 1989.
  28. 김희연, 이영자, 홍기형, 권용관, 김소희, 김현중, 이철원, 김길생, 이상훈. 식품첨가물 중 불용성광물성물질의 물리화학적 특성. 한국식품과학회지 31(5): 1188-1195. 1999.
  29. 허남철, 김충모, 최경철, 나환식. 농산물 통조림의 저장기간에 따른 pH 및 중금속 변화. 한국식품영양과학회지 29(3): 380-383. 2000.
  30. 전옥경, 김연천, 한선희. 시중 유통 가공식품 중의 중금속 함량에 관한 연구. 한국식품위생안전성학회지 16(4): 308-314. 2001.
  31. 김미혜, 소유섭, 김은정, 정소영, 홍무기. 폐광산지역 농산물, 토양 및 농경수의 중금속오염에 관한 연구. 한국식품위생안전성학회지 17(4): 178-182. 2002.

32. 박정숙, 이미경. 전라남도 광산 주변에서 수확한 농산물 중의 중금속 및 미량금속 함량 조사-영암, 보성, 곡성, 여천군을 중심으로-. 한국식품영양학회지 15(1): 64-69. 2002.
33. 정구복, 정기열, 조국현, 정병간, 김규식. 시설재배지 토양 및 채소류 중 중금속함량 조사. 한국토양비료학회지 30(2): 152-160. 1997.
34. 허민수, 김진수. 수산물 기름 담금 통조림 식품의 중금속 함량. 한국응용생명화학회지47(3): 307-314. 2004.
35. 조양희, 박선오, 우수민, 함태식. 식품의 종이 포장재에 존재하는 중금속의 함량. 한국환경분석학회지 6(2): 95-99. 2003.
36. 김미혜, 김정수, 소유섭, 정소영, 이종욱, 여러 가지 식품 중 중금속 함량에 관한 연구, 한국식품과학회지 35(4):561-567. 2003.
37. 최은영, 김진숙, 김효철, 김행란, 한기정, 전해경. 국산 및 수입산 김치의 납, 카드뮴 안전성 평가. 식품안전성 학회
38. 이서래. 수산물의 중금속 오염. 한국수산학회 하계 심포지움. 1989.
39. 김미라. 식품의 안전성. 신정. 2004.
40. 이효민, 임철주, 김종욱, 최시내, 윤은경, 한지연, 김효미, 김부영, 식품 중 납의 위해성 평가. 식품의약품안전청 연구보고서 3. 60-73. 1999.
41. 이효민, 임철주, 윤은경, 김종욱, 최시내, 김효미, 한지연, 김부영, 식품 중 카드뮴의 위해성 평가, 식품의약품안전청 연구 보고서 4, 67-77. 2000.
42. 정용, 황만식, 양지연, 조성준, 납의 다경로 노출에 의한 건강 위해성 평가: 우리나라 일부지역 성인들을 대상으로. 한국환경독성학회지 14. 203-216. 1999.
43. Kwon, Y.T. Lee, J.A. and Lee, S. R. Estimation of the dietary intake of toxic metals by total diet study in Korea. Food Sci. Biotechnol. 10. 414-417. 2001.
44. 김민경, 김원일, 정구복, 윤순강. 우리나라에서 생산된 농산물의 중금속 안정성 평가. 한국환경농학회지 20. 169-174. 2001.
45. 식품의약품안전청. 식품과 중금속. 행정간행물. 등록번호 40200-65421-37-9919. 28면. 1999.
46. 이순재, 김미지, 윤연희. 한국산 녹차, 우롱차 및 홍차 음료의 중금속 제거 및 해독 작용. 국내 녹차 심포지움. 식품산업과 과학. 28(4): 17-28. 1995.
47. 한찬규, 이남형, 노정해, 성기승, 채찬희, 돼지고기가 생체 내 중금속의 축적억제에 미치는 영향. 초청강연 논문 III.
48. 김현복, 이완주, 김선여, 이용기, 방혜선. 빙입차에 의한 음용수중 카드뮴과 납의 제거 효과. Korean J. Seric. Sci. 40(1):17-22. 1998.
49. Henry Kim. US FDA regulatory strategy and monitoring program for toxic elements in food. In the 1st International Symposium on monitoring and management of heavy metals and contaminants in agricultural products. 2005. 11. 7.
50. Lar. Jorhem. Monitoring heavy metals in agricultural products and management in Sweden and Eurpe, with a perspective on analytical quality. In the 1st International Symposium on monitoring and management of heavy metals and contaminants in agricultural products. 2005. 11. 7.
51. Junquan Gao. Dietary heavy metals monitoring, intake and assessments in China. In the 1st

- International Symposium on monitoring and management of heavy metals and contaminants in agricultural products. 2005. 11. 7.
52. Jongok Lee. Current management of heavy metals and contaminants in foods in Korea. In the 1st International Symposium on monitoring and management of heavy metals and contaminants in agricultural products. 2005. 11. 7.
53. KFDA. 현행 식품공전 중 중금속 기준 및 규격목록. [www.kfda.go.kr](http://www.kfda.go.kr). 2006. 12.

