J. Fd Hyg. Safety 16(4), 324-332 (2001)

국내식품의 중금속 오염과 위해성 분석

이서래[†] · 이미경*
*한국과학기술한림원, *안동대학교 식품가공학전공*

Contamination and Risk Analysis of Heavy Metals in Korean Foods

Su-Rae Lee[†] and Mi-Gyung Lee*
Korean Academy of Science and Technology, Seoul 135-703, Korea
**Food Processing Division, Andong National University, Kyungbuk 760-749, Korea*

ABSTRACT – Foods constitute a large portion of heavy metal exposure toward general population and attract a deep concern with respect to assuring human health. This study summarized published data in Korea on the content and dietary intake of heavy metals and assessed their risk potential in comparison with foreign data. An analysis for the yearly fluctuation of metal contents including arsenic, cadmium, mercury and lead by food group (marine fishes, coastal shellfishes, freshwater fishes, cereal grains) exhibited a decreasing trend from the 1970s to the 1990s. When compared with domestic standards of heavy metals, their mean contents were below the limit and their maximum values seldom exceeded the limit. The data on the dietary intake of heavy metals by Koreans showed a decreasing trend from the 1980s to the 1990s. The average intakes of As and Hg were 6~8% and those of Cd and Pb were 50~80% of PTWI(provisional tolerable weekly intake), all of which were below the tolerance. As the extreme intakes of these metals may exceed the PTWI, a careful assessment for them may be necessary. Dietary intakes of Cd, Hg and Pb by Koreans lie in the mid-level among countries cited in the GEMS/Food monitoring data. As fishery foods are suspecious of contamination with Hg, Cd and As, and foods in general are with Pb, it is necessary to establish legal limits for these metals and monitor any progress of their contamination. Furthermore, overall assessment of exposure to heavy metals from all sources including foods, air, drinking water and occupation should be made in order to confirm the dietary risk factors and to assure the safety of food resources.

Key words □ Heavy metals, Risk assessment, Korean foods

중금속(heavy metal)은 비중이 4 이상되는 금속원소로서 인류가 금속을 이용하기 시작하면서 인체에 대한 위해인자로 대두되기 시작하였다. 특히 산업화 과정에서 공업의 급속한 발전과 인구의 도시집중, 그리고 인간활동의 증가는 중금속에 의한 환경오염을 초래하였다. 이러한 중금속 오염은 인체에 대한 직접적인 노출과 아울러 우리들의 식품을 오염시켜 궁극적으로 국민보건을 위협하기에 이르렀다.

금속원소는 미량으로 인체에 필수 불가결한 것(Fe, Zn, Cu, Co 등), 극히 미량일지라도 인체에 나쁜 영향을 미치는 것(As, Cd, Hg, Pb 등), 그리고 그의 생리적 특성이 알려지지 않은 것(Ag, Ni, V, Sb 등)의 세가지 그룹으로 나눌 수 있다. 두번째 범주에 속하는 것들은 생물체 본래의 구성성분이 아니고 동식물의 생육과정이나 식품의 가공, 저장 중에 외부에서 오염되어 들어가는 이른바 환경오염성 유해금속(environmental toxic metal)으로서 인체에 비교적 독성이 강하기 때문에 식품안전성에서 관심이 쏠리고 있으며 이들을 흔히 유해금속 또는 중금속이라 부르고 있다.

중금속에 의한 대표적인 인명피해로는 일본에서 Hg으로 인한 미나마다병(水俣病; minamata disease)과 Cd으로 인한 이따이이따이병(itai-itai disease), 그리고 이락에서 종자소독용 유기수은제에 의한 집단사고 등을 들 수 있다. 국내에서 중금속에 의한 집단피해는 아직 보고되지 않고 있으나 작업장에서 중금속 중독환자가 가끔 발생되고 있고 공업단지 주변의 주민들에 의한 피해 호소가 자주 일어나고 있으며 한국인의 머리카락에서 높은 농도의 중금속이 검출되고 있다. 이러한 상황은 국내에서 중금속에 의한 환경오염이 진행되고 있으며 한국인이 섭취하는 식품의 중금속 오염이 우려할 단계에 도달하고 있음을 예고해주는 것이라 생각된다.

중금속의 오염 및 독성에 관해서는 이미 외국에서 여러권의 단행본이 출판되고 있고[1-3] 국제기구에서의 규제현황이 소개되고 있다.[4,5] 본 논문에서는 중금속에 관련된 국내에서

[†]Author to whom correspondence should be addressed.

의 연구현황을 정리하고 외국에서의 연구결과와 비교함으로써 중금속에 의한 피해를 예방하는데 도움을 주고자 하였다.

국내 식품의 중금속 함량

우리나라에서 식품위생적 견지에서 중금속을 조사하기 시작한 것은 1967년 농촌진흥청에 의한 국내산 쌀시료의 Hg 함량 측정이 처음이며[6] 이어서 농산물에 대한 중금속 검색이 이루어졌다. 그후 1980년대에는 곡류에 대한 관심은 줄어들고 채소, 과일에 대한 꾸준한 조사와 함께 수산물에 대한 관심이 두드러지게 높아졌음을 볼 수 있다.[7,8] 최근에는 당류, 다류와 같은 가공제품에 대한 모니터링이 이루어지고 있으나[9,10] 축산물에 대한 보고는 매우 제한되어 있다.

현재까지 발표된 유해금속의 검색자료를 5년기간별로 발표논문수와 분석시료수로 구분하여 정리해보면 Table 1과 같다. 여기에서 1990년 이전 데이터는 발표된 모든 보고서[7,8]를 참고하였고 1991년 이후 데이터는 중금속 검색 결과가 많이 발표되는 자료(국립보건원보, 식품의약품안전청연보, 서울시보건환경연구원보, 한국식품위생안전성학회지) 만을 탐색하였다. 1년간 발표논문수는 평균 4편이고 분석시료수는 500여개에 도달하고 있으며 특히 1980년대에 들어와 조사분석이 활발하게 진행되었다.

중금속 중에서 수은에 관한 조사는 초기에는 주로 유기수은계 농약의 잔류 여부를 검색하기 위하여 실시되었고 후기에는 환경오염에 의한 수은 함량을 알기 위하여 조사되었다고 할 수 있다. 그러나 유기수은만을 정량하는 방법이 확립되어 있지 못하여 총 수은의 함량을 분석하고 있었기 때문에 수은의 검출이 옛날에 사용되던 유기수은계 농약에 유래되는지 또는 다른 오염원에서 유래되는지 분별하는 것은 불가능하다. 더우기 수산물의 경우는 생물체내에서 무기수은이 유기수은으로 전환되기 때문에 더욱 그러하다.

비소의 경우도 마찬가지로 초기에는 농약으로 오랫동안 사용되어온 비소제의 잔류량을 검색하기 위하여 착수되었다. 그러나 이 경우에도 총 비소의 함량을 정량하고 있기 때문에 잔류농약(무기 및 유기 비소제)에 의하는지 또는 환경 오염성인지 구별되지 못하고 있다. 비소의 함량은 관례상 As_2O_3로 표현되어 왔으나 실제로는 원소상태로 분석하는 경우가 있기때문에 모든 자료는 가능한 한 As농도로 환산하여 표시하였다 (As_2O_3:As = 1:0.757).

국내에서 식품중 중금속 함량에 관한 조사보고는 매우 많지만 문제되는 식품항목이나 오염의 연차적 추세를 파악하는 것은 매우 어려웠다. 따라서 이들 보고 중에서 분석시료수가 100개 이상되는 비교적 신빙도가 높다고 판단되는 결과만을 선택하여(수산물의 경우는 예외가 있었음)[7-18] 해산어류, 연안패류, 담수어류, 곡류로 나누어 조사년도에 따른 금속원소의 평균치와 최고치를 도시하였으며 그 결과는 Fig. 1~4와 같다.

여기에서 중금속 농도는 시료에 따라 평균치와 최고치 간에 큰 편차를 보였는데 그 이유가 시료 채취지역에 따른 오염때문인지, 아니면 분석상의 오차 때문인지 판별할 수는 없었다. 그러나 중금속 농도의 변화추세를 파악하기 위하여 조

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
1967~70	7	0	558	136	192	558
1971~75	23	681	1,074	737	738	1,250
1976~80	17	678	553	411	70	922
1981~85	30	1,222	1,975	1,898	391	3,058
1986~90	44	4,064	3,007	3,955	2,017	4,430
1991~95	8	1,887	1,887	1,828	1,828	1,887
1996~00	14	3,866	3,866	3,866	2,936	4,028
Total	143	12,398	12,920	12,831	8,172	16,133

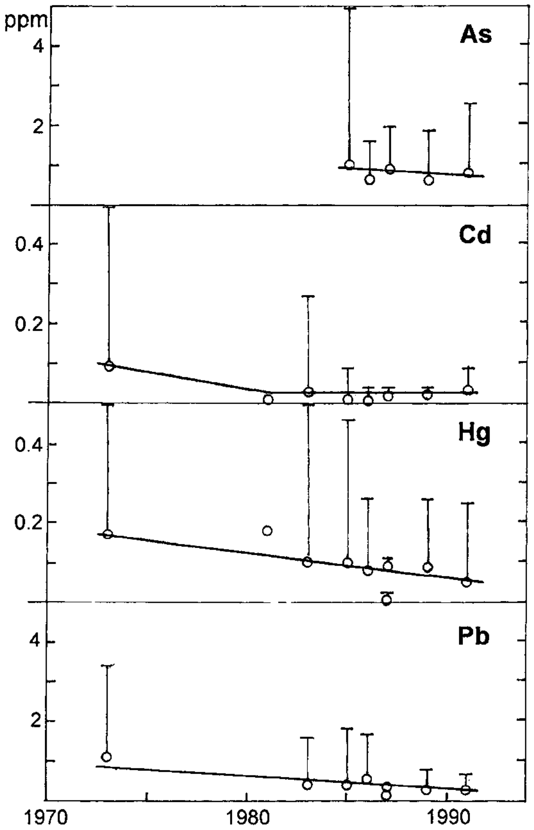

Fig. 1. Yearly trends in heavy metal concentrations in marine fishes
(O: mean, T: maximum)

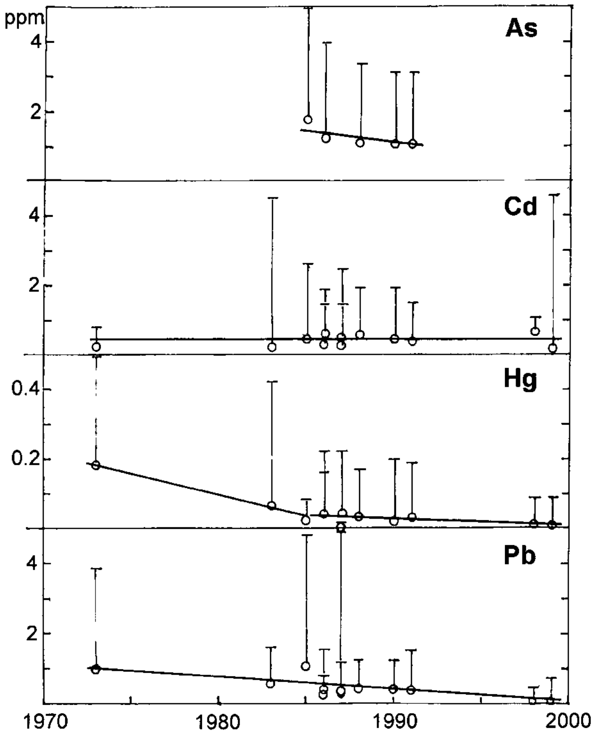

Fig. 2. Yearly trends in heavy metal concentrations in coastal shellfishes
(O: mean, T: maximum)

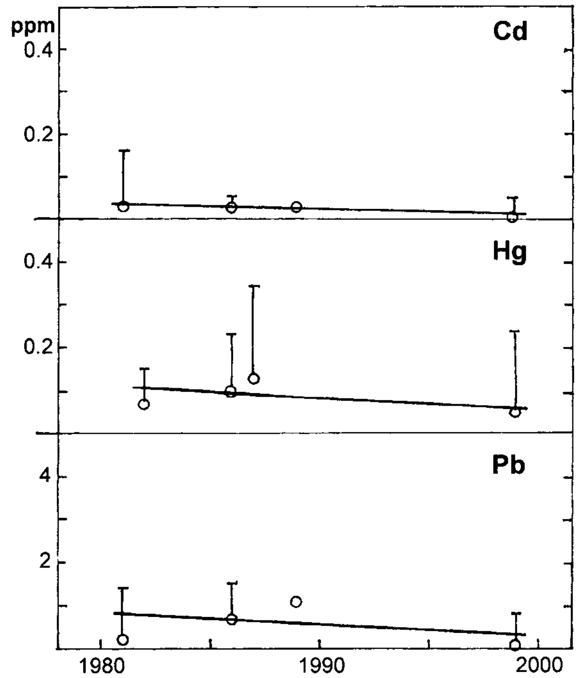

Fig. 3. Yearly trends in heavy metal concentrations in freshwater fishes
(O: mean, T: maximum)

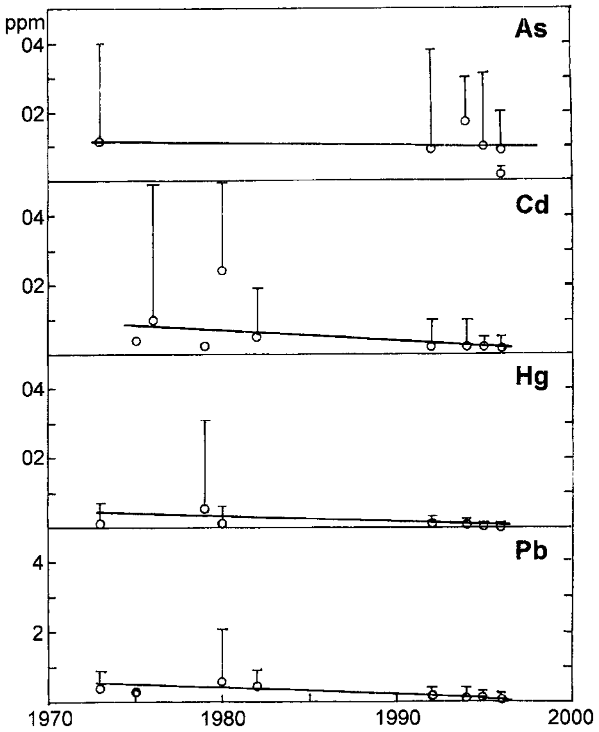

Fig. 4. Yearly trends in heavy metal concentrations in cereal grains
(O: mean, T: maximum)

Table 2. Trend analysis of heavy metal concentrations by food group (slope of curve as concentration difference(ppm)/decade*)

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
Freshwater 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

사기간(10년)에 대한 중금속 평균농도(ppm)의 기울기를 계산하였으며 그 결과를 보면 Table 2와 같다. 이들 결과에 의하면 4가지 중금속이 1970년대 보다는 1980년대, 그리고 1990년대로 올수록 그 평균농도가 조금씩 감소하는 것으로 나타났다. 분석 당시 존속하던 국내식품의 중금속 기준과 비교하였을 때 평균치로는 기준을 초과하는 경우가 없었으나 최고치는 기준을 초과하는 예가 드물게 발견되었다.

중금속의 식이섭취량과 위해성 평가

식품 중 유독성 오염물질에서 유래되는 건강피해를 예측

하기 위해서는 해당성분의 실제적인 식이섭취량이 독성학적으로 설정된 PTWI(provisional tolerable weekly intake; 주간섭취 잠정허용량)나 ADI(acceptable daily intake for man; 인체허용 1일섭취량)에 미달하는지 또는 초과하는지, 즉 독성기준치에 대한 노출량 비율인 위해지수(risk index)를 계산할 필요가 있다. 나아가 이와 같이 계산된 위해지수를 다른 나라 또는 다른 위해성분과 비교함으로써 상대적인 위험성을 비교하고 필요한 규제대책을 마련해야만 된다.

1) 국내에서의 연구사례

1980년대에 들어와 한국인에 의한 중금속의 식이섭취량을 평가하고자 시도한 조사보고를 정리해보면 Table 3과 같다. 여기에서 진정한 의미의 시장바구니 조사(market basket survey)가 이루어진 예는 아직 찾아 볼 수 없고 문헌치에 근거한 계산이거나 대중식사를 통한 간이 조사에 지나지 않는다. 조사방법에 따라 많은 차이를 보이고 있으며 이들에 대한 재검토가 요청되고 있다. 여기에서는 편의상 이들의 조사 결과를 단순하게 산술평균하였다. 서울시내 대중식사를 통한 수은 섭취량이 239 µg/head/day 라는 보고[26]가 있었는데 그 원인은 모르겠지만 과대평가된 것으로 간주되어 여기에는 포함시키지 않았다.

농촌진흥청에서는 1980~2000년 사이에 수집한 농산물시료 2,861점에 대한 중금속 함량을 분석하였고 해당식품들의 소비량을 감안하여 개별중금속의 식이섭취량을 계산하였다.[27] 그러나 이 값은 농산물만에 의한 섭취량으로서 전체 섭취량은 이보다 30%정도 더 많을 것으로 예상된다. 한편 식품의약품안전청에서는 1985~99년 사이에 자체에서 조사한 식품별 중금속 평균농도와 국민영양조사(1995년)에 의한 식품섭취량을 토대로 한국인의 중금속 섭취량을 산출한 바 있다.[28] 이들 결과는 Table 8에 요약되어 있다.

이효민 등[29,30]은 1990년 이후에 발표된 오염도 데이터에 근거하여 한국성인에 의한 납과 카드뮴의 식이섭취량을 Monte-Carlo simulation 모델을 이용하여 추정한 바 있으며 그 결과를 요약하면 Table 4와 같다. 한국성인의 납 섭취량

Table 3. Summary of estimations on the dietary intake of toxic metals by Korean population during the 1980s

Year	Type of study	Dietary intake (µg/head/day) Cd	Hg	Pb	Reference
1980	Calculation - common foods	71	-	326	19
1986	Measurement - restaurant meals (105 samples)	84	-	434	20
1986	Calculation - common foods, near metal refineries	70	9	257	21
1988	Calculation - common foods	77	31	467	22
1988	Measurement - restaurant meals (60 samples)	-	13	-	23
1989	Measurement - restaurant meals (66 samples)	-	8*, 35**	-	24
1990	Measurement - restaurant meals (66 samples)	55	-	395	25
1980s	Mean	71	19	376	

*Gold-amalgamation method by mercury analyzer.
**Cold vapor method by atomic absorption spectrophotometry.

Table 4. Dietary exposures of lead and cadmium by food groups for Korean adults in the 1990s[29,30]

Food group	Pb intake (µg/kg bw/day)	Cd intake (µg/kg bw/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
- 95th percentile	1.87	0.426	52% PTWI	43% PTWI
PTWI (day-basis)	3.6	1.0		

은 평균치로 볼 때 1.28 µg/kg bw/day(=8.96 µg/kg bw/wk), 극단치(95%위)는 1.87 µg/kg bw/day(=13.09 µg/kg bw/wk)로 추정하였으며 이 값을 PTWI값(25 µg/kg bw/wk)과 비교할 때 평균치는 36%, 극단치는 52%로 나타났다. 한편 카드뮴 섭취량은 평균치 0.209 µg/kg bw/day, 극단치 0.426 µg/kg bw/day 로 추정하였으며 PTWI값(7 µg/kg bw/wk)과의 대비율은 각각 21%, 43%로 나타났다. 여기에서 납의 경우는 총 식품섭취량의 72%, 카드뮴의 경우는 총 식품섭취량의 58%에 대해서만 계산하였으므로 실제 섭취량보다 과소평가된 것으로 판단된다.

한편 다경로 노출에 의한 한국성인의 납 노출량에 대한 평가가 시도되었으며 그 결과를 요약하면 Table 5, 6과 같다.[31] 즉 Monte-Carlo simulation 모델을 이용하여 노출매체별, 식품종류별, 지역별로 납의 총 노출량과 초과발암위해도를 계산한 다음 상대적 위험도를 논의하였다. 여기에서 원저자들은 평가된 데이터를 toxicological risk standard와 비교하지 않았음은 아쉬운 일이다. 그러나 본 논문에서는 위해기준에 대한 비교치를 제시하였다.

공기, 물, 식품으로 부터 납의 섭취총량을 보면 공단지역이 서울도시지역보다 20~30% 높이 나타났다. 여기에서 PTWI에 대한 비율을 보면 어느 지역이나 평균치로는 5~7%, 최고치로는 32~37%에 이르고 있다. 이러한 값은 다른 조사결과에 비하여 매우 낮은 수준으로써(약 1/10) 과소평가된 것으로 판단된다. 그러나 이들 결과로 부터 노출매체별 기여율을 계산해보면 공단지역의 경우 대기 20%, 음용수 5%, 식품 75%로 간주해도 좋을 것으로 생각된다.

한편 납에 의한 초과발암위해도를 보면 어느 경우이건 risk standard인 10^{-6}을 초과하고 있으며 특히 공단지역에서는 대기와 음용수에 의한 위해도가 도시지역의 4~5배에 이르고 있다. 식품의 경우는 지역별 데이터가 없었으므로 언급할 수 없으나 납에 의한 위해도는 cancer endpoint에 의한 평가가 non-cancer endpoint의 경우보다 매우 높은 것으로 나타났다.

최근(2000) 식품의약품안전청과의 용역연구[32,33]에서는 한국인의 대표식단에 의한 중금속의 식이섭취량을 6개 권역별로 분석하였다. 그 결과로 부터 원소에 따른 전국 평균치와 최고치를 계산하였고 위해지수로서 FAO/WHO에서 설정한 PTWI에 대한 %비율을 산정하였으며 Table 7에 요약하였다. 본 조사에 제공된 대표식단의 평균치는 칼로리 및 단백질로 보았을 때 국민 평균섭취량의 68%에 불과하였으므로 실험

Table 5. Exposure of lead by media by Korean adults

(Unit: µg/kg bw/day)[31]

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 µg/kg bw/wk = 3.6 µg/kg bw/day

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

Table 6. Excess cancer risk of Korean adults by lead exposure[31]

(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 7. Estimation of risk index from the total diet study of toxic metals by Korean population[31,32]

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

1Dietary intake: from TDS data (µg/kg bw/week).
2PTWI: provisional tolerable weekly intake (µg/kg bw/week).
3Risk index in % = (dietary intake/PTWI) × 100, for total in As and Hg.
4Adjusted on the assumption that typical diet samples consist of 68% of actual food intake by Korean population.

이때 비소의 PTWI는 1972년에 설정된 총 비소를 기준으로 한 350 μg/kg bw/wk를 적용하였다. 일반적으로 식품중에는 유기비소가 다량 존재하지만 독성이 문제되는 것은 무기비소인 것으로 알려져 JECFA에서는 1988년부터 그 허용량을 무기비소로 하여 15 μg/kg bw/wk로 개정하였다. 본 조사에서는 총 비소를 분석하였으므로 총 비소 기준에 근거하여 위해지수를 계산하였다. 수은도 총 수은을 분석하였으므로 PTWI값으로 5 μg/kg bw/wk를 이용하였다.

유해중금속의 위해지수를 보면 전국 평균치로 볼 때 As, Hg은 6~8% 수준이고 Cd, Pb은 50~80% 수준으로 모두 허용량을 밑돌고 있다. 그러나 지역에 따라서는 특정식단에서 이들 중금속의 섭취량이 전국 평균치를 훨씬 벗어나고 있다. 즉 Cd, Pb은 평균치의 2배, As, Hg은 평균치의 5~9배에 이르는 식단이 있었고 위해지수도 훨씬 올라가 PTWI를 초과하는 경우가 발견되고 있다. 이와 같이 평균치를 훨씬 초과하는 지역에서 그 원인이 무엇인지 앞으로 규명되어야 할 것이다. 즉, 같은 지역에서도 특정 식단에서 예외적으로 높은 섭취량이 나타나고 있는데 그 원인이 식품원료에 유래되는지, 아니면 조리가공중에 오염되는 것인지 찾아내야 할 것이다.

현재까지 국내에서 수행된 중금속의 식이섭취량과 관련된 조사결과를 정리한 결과는 Table 8과 같다. 여기에서 PTWI에 대한 식이섭취량의 비율을 보면 중금속에 따라 약간 다르기는 하지만 1980년대에는 매우 높은 수준이었으나 최근에 와서는 그 수준이 낮아졌음을 알 수 있다. 이러한 차이가 과연 연차적 감소추세에 의한 것인지, 아니면 조사방법(식품원료 대 조리식품)에 따른 차이인지 체계적인 연구가 계속되어야 할 것이다. 더우기 Cd과 Pb은 평균치로 계산하였을 때 최근에 와서도 PTWI의 40%를 초과하고 있으며 극단소비량으로 계산한다면 평균치의 2배가 되어 PTWI를 초과할 수 있으므로 중금속의 위해성에 대해서는 심도있는 평가가 요구된다.

2) 외국 연구사례와의 비교

국제기구인 UNEP/FAO/WHO 합동 식품오염 검색프로그램 (Food Contamination Monitoring Programme)은 UNEP가 수행하고 있는 GEMS(Global Environmental Monitoring System)의 일환으로서 식품 중 오염물질의 수준, 식이노출량, 보건상의 중요성에 관한 정보를 수집, 평가후 홍보하고 있으며 GEMS/Food로 불리우고 있다.[5] 현재 이 프로그램에는 39개국이 참여하고 있으며 국가에 따라 식생활 패턴이나 조사방법이 다르지만 세계적인 추세를 파악하는데 큰 도움이 되고 있고 지침서인 "Guidelines for the Study of Dietary Intake of Chemical Contaminants (WHO, 1985)"에서는 각국의 가용재원에 따라 적절한 절차를 취하도록 권고하고 있다.[34] GEMS/Food에서는 1980년 이후 유해물질의 오염데이타 및 식이섭취량 정보를 수집하여 평가하고 있으며 중금속별로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.[4,5]

(1) 납의 식이섭취량

성인에 의한 납의 평균 식이섭취량이 25개국에서 수집되었으며 1980~88년 자료를 순위별로 보면 Fig. 5와 같다. 그 수준을 보면 1~63 μg/kg bw/wk의 범위에 있는데 이러한 차이가 사실인지 아니면 평가방법의 차이때문인지 또는 정도관리상의 문제인지 검증되어야 할 것이다. 조사된 국가 중에서 미국은 가장 낮은 수준을 유지하고 있으며 다른 한편

Table 8. Summarized data on the risk assessment of toxic metals in Korea

Assessment items	Cd	Hg	Pb	References
Dietary mean intake (μg/kg bw/wk)				
Existing reports (1980~90)	9.0	2.4	47.9	Table 3
RDA data (1980~2000)	2.20	-	22.0	27
KFDA data (1985~99)	3.25	0.95	14.9	28
Monte Carlo simulation (1990~98)	1.46 (2.98*)	-	9.0 (13.1*)	29, 30
KFDA contract - TDS (2000)	3.20	0.41	21.2	32, 33
PTWI (μg/kg bw/wk)	7	5	25 (50#)	
Risk index (% of PTWI)				
Existing reports	129	49	192 (87#)	
RDA data	31	88	88 (44#)	
KFDA data	46	20	60	
Monte Carlo simulation	21 (43*)	-	36 (52*)	
KFDA contract - TDS	46	8	85	

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

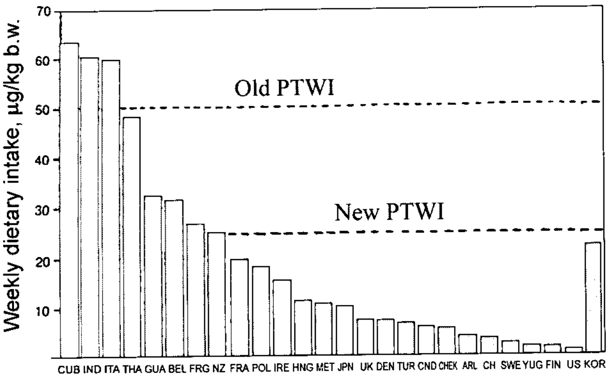

Fig. 5. Mean dietary intake of lead in different countries (1980~88).

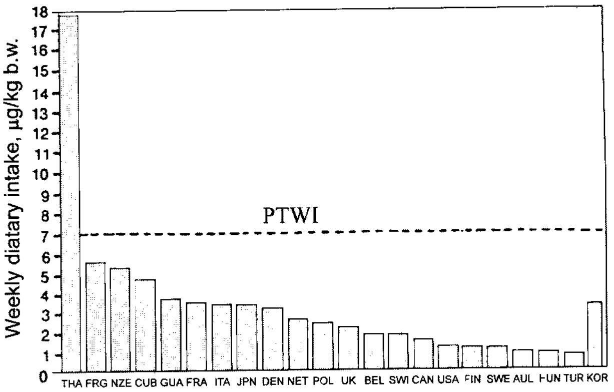

Fig. 6. Mean dietary intake of cadmium in different countries (1980~88).

1992년까지의 PTWI인 50 μg/kg bw/wk을 초과하거나 접근하고 있는 나라는 큐바, 인도, 이태리, 태국의 4개국으로 알려졌다. 만일 1993년에 개정된 PTWI인 25 μg/kg bw/wk와 비교한다면 8개국이 초과하는 것으로 나타나 납에 의한 위험성이 우려되고 있다. 최근(2000년) 한국인에 의한 납의 식이섭취량을 21 μg/kg bw/wk 수준으로 본다면 우리나라는 조사된 국가들의 중위권에 속하는 것으로 생각된다.[33]

일반적으로 어떤 인구집단의 95%위 식품섭취량은 전체인구 평균섭취량의 2배에 이르고 있고 특정식품의 경우는 3배에 이르기도 한다.[34] 따라서 식습관이 특수한 인구집단에서 성인에 의한 평균섭취량이 안전한 경우라도 최대섭취량은 PTWI를 초과하는 경우가 있을 것이므로 깊은 관심을 가져야 할 것이다. 예컨대 1987년 호주에서는 극단소비자(96%위)의 납 섭취량은 평균성인의 4배인 17 μg/kg bw/wk에 이르렀고 1980년 덴마크에서는 성인의 평균섭취량이 8 μg/kg bw/wk이었는데 매일 250 ml의 맥주를 마시는 경우 23 μg으로 나타났고, 납제련소 주변의 성인의 경우 33 μg으로 크게 증가하였다. 1981년 영국에서는 수도수의 납 함량이 매우 높았던 지역에 사는 주민의 납 섭취량은 국민평균인 7 μg/kg bw/wk보다 훨신 높은 48 μg이었다. 국내 조사에서 납의 최대섭취량은 평균섭취량의 2.2배에 이르렀다.[33]

(2) 카드뮴의 식이섭취량

여러 나라에서 성인에 의한 1980~88년간의 카드뮴 평균섭취량을 순위별로 보면 Fig. 6과 같다. 태국을 제외한 모든 나라의 섭취량 데이타는 1~6 μg/kg bw/wk 범위에 있어 PTWI인 7 μg/kg bw/wk을 밑돌았다. 최근 조사에 의하면 한국인에 의한 카드뮴의 식이섭취량은 3 μg/kg bw/wk수준으로[33] 조사된 국가들의 중위권에 속한다.

캐나다, 덴마크, 핀랜드, 네덜란드, 미국은 곡류 및 그 가공품, 감자류, 기타 채소류가 카드뮴 섭취의 주요 공급원이었고 과일류, 육류, 유제품은 섭취량에 별로 기여하지 못하였다. 카드뮴 농도는 동물신장과 패류에서 높이 나타났다. 예컨대 벨지움에서는 1주일에 한번씩 홍합이나 동물신장을 먹으면 카드뮴 섭취량이 PTWI에 접근하였다. 이와 비슷하게 덴마크에서는 소신장, 오염지역의 홍합이나 야생버섯을 평균치 이상으로 섭취하면 카드뮴 섭취량이 PTWI를 초과하였다.

(3) 수은의 식이섭취량

성인에 대하여 여러 나라에서 제공된 수은의 식이섭취량(1980~88년)을 보면 Fig. 7과 같이 0.2~2.5 μg/kg bw/wk의 범위에 있고 메칠수은의 PTWI인 3.3 μg/kg bw/wk를 밑돌고 있다. 최근 한국인의 수은 섭취량은 0.4 μg/kg bw/wk으로 분석되었으나 과소평가된 것으로 판단되며 실제로는 0.8 μg수준으로 간주되어 조사된 국가들의 중위권에 속할 것으로 예상된다.

일본과 미국에 있어서 수은 섭취량을 연차적으로 보면

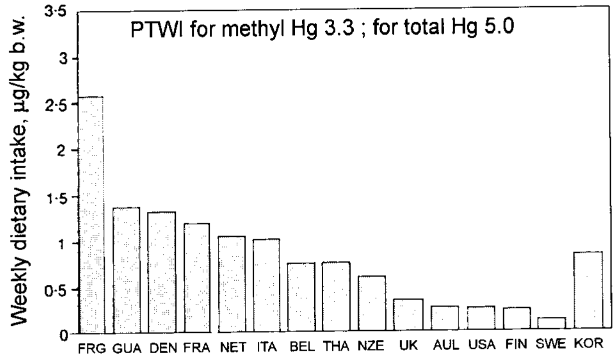

Fig. 7. Mean dietary intake of total mercury in different countries (1980~88).

Table 9. Dietary intake of mercury by year in Japan and USA[35,36]

Country	Year	Intake of total mercury	
		(μg/head/day)	(μg/kg bw/wk)
Japan	1960	92.3	12.9
	1969	46.6	6.5
	1970	59.2	8.3
	1972	44.5	6.2
	1973	35.0	4.9
	1975	21.6	3.0
	1983	8.2	1.1
USA	1941	20.0	2.3
	1973	2.9	0.34
	1976	6.5	0.76
	1982~84	3.1	0.36

Table 9와 같다.[35,36] 일본에서 수은의 중독사고인 미나마다병이 발생한 1960년에는 13 μg/kg bw/wk이었고 그 후 점차적으로 감소하여 1980년대에는 그의 1/10인 1 μg/kg bw/wk 수준으로 떨어졌다. 일본에서 식품군별 수은섭취량을 보면 Table 10과 같다.[35] 오염이 심하였던 1960년대에는 곡류가 주종을 이루었으나 오염이 줄어든 1975년에는 어패류가 주종을 이루었다. 서방국가에서 수은의 섭취량이 1~2 μg/kg bw/wk 수준에 이르고 있는데도 불구하고 어패류에 관심을 가지는 이유는 여기에 있다.

Table 10. Dietary intake of mercury by food group and year by Japanese (Unit: total Hg, μg/head/day)[35]

Food group	1960	1970	1975
Cereals	59.4	33.4	3.4
Vegetables	18.7	14.3	6.4
Fish & shellfish	8.6	9.5	9.7
Milks & meats	5.7	2.1	2.1
Total	92.3	59.3	21.7

감사의 글

본 논문은 보건의료기술 연구개발사업(관리번호: HMP-99-F-06-0001, 식품중 각종 위해요인의 위해성 평가와 관리방안 수립에 관한 연구, 3차년도)의 일환으로 수행된 연구결과의 일부이며 연구비를 지원해준 보건복지부에 감사하는 바이다.

국문요약

인체의 중금속 노출은 식품이 대부분을 차지하고 있어 세계 어느나라나 인체건강의 유지라는 측면에서 깊은 관심을 쏟고 있다. 본 연구에서는 국내산 식품의 중금속 함량과 식이섭취량에 관련된 연구결과를 총정리하였으며 외국자료와 비교함으로써 중금속의 위해성을 평가하였다. 식품군별(해산어류, 연안패류, 담수어류, 곡류)로 비소, 카드뮴, 수은, 납의 4가지 금속원소의 함량에 대한 연차적 변화추세를 분석한 결과 1970년대보다는 1980년대, 그리고 1990년대로 올수록 중금속의 평균농도는 감소하는 것으로 나타났다. 중금속의 국내기준과 비교하였을 때 평균치로는 기준을 초과하는 경우가 없었으나 최고치로는 기준을 초과하는 경우가 드물게 발견되었다. 한국인에 의한 중금속의 식이섭취량 데이터를 요약하면 1980년대보다는 1990년대에 감소하는 경향이 있었다. 중금속 중 As, Hg의 평균섭취량은 PTWI의 6~8%, Cd, Pb은 50~80% 수준으로 모두 허용량을 밑돌고 있으나 특정식품을 많이 먹는 극단소비량으로 계산한다면 PTWI를 초과할 수 있으므로 심도있는 평가가 요구된다. 한국인에 의한 Cd, Hg, Pb의 식이섭취량은 여러 국가에 대한 GEMS/Food 데이터와 비교시 중위권에 속하는 것으로 나타났다. 식품 중에서 수산물은 Hg, Cd 및 As의 오염이, 일반식품은 Pb의 오염이 우려되고 있으므로 이들 중금속에 대한 법적기준을 설정하여 중금속에 의한 오염 진행상황을 감시해야 될 것이다. 나아가 모든 급원(음식물, 공기, 물, 직업적 노출)으로부터 중금속의 총 노출량을 평가하고 식생활에서의 위해요소를 확인함으로써 식량자원의 안전성을 확보할 수 있게 되기를 바란다.

참고문헌

1. Klaassen, C.D., Amdur, M.O. and Doull, J.: *Casarett & Doull's Toxicology*, 5th ed., Chapter 23, Macmillan, New York, (1995).
2. Concon, J. M.: *Food Toxicology*, Chapter 18, Marcel Dekker, New York (1988).
3. Seiler, H.G., Sigel, H. and Sigel, A.(eds): *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*, Marcel Dekker, New York (1988).
4. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA): *Safety Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants*, WHO Food Additives Series 44, pp. 273-391, International Programme on Chemical Safety and WHO, Geneva (2000).
5. Galal-Gorchev, H.: Dietary intake, levels in food and estimated

intake of lead, cadmium and mercury, *Food Add. Contam.*, **10**, 115-128 (1993).

6. 박성석, 한성식: 농약의 잔류독성에 관한 연구, 농촌진흥청 식물환경연구소 시험연구보고서, **1**, 173-190 (1967).
7. 이서래: 식품의 안전성 연구, 제4장, 이화여대 출판부 (1993).
8. 이서래: 중금속의 오염현황과 위해성 평가, 식품영양정보(이화여대), **4**, 22-40 (1993).
9. 김길생, 이종옥, 소유섭, 서석춘, 강혜경, 류순영, 최병희, 권영범, 백덕우, 시도보건환경연구소: 식품 중의 미량금속에 관한 조사연구-연안 어패류 중의 미량금속 함유량에 관하여, 국립보건원보, **28**(2), 354-365 (1991).
10. 김길생, 이종옥, 소유섭, 서석춘, 강혜경, 류순영, 권영범, 이해빈: 식품 중의 미량금속에 관한 조사연구-농산물(곡류, 두류, 서류) 중의 미량금속 함유량에 관하여, 국립보건원보, **29**(2), 365-377 (1992).
11. 김길생, 이종옥, 소유섭, 서석춘, 정소영, 류순영, 송경희, 손영옥, 이해빈: 식품 중의 미량금속에 관한 조사연구-농산물(채소류, 과실류) 중의 미량금속 함유량에 관하여, 국립보건원보, **30**(2), 366-377 (1993).
12. 김길생, 김창민, 소유섭, 서석춘, 정소영, 류순영, 송경희, 김종성, 이해빈: 식품 중의 미량금속에 관한 조사연구-농산물(곡류, 두류, 서류) 중의 미량금속 함유량에 관하여, 국립보건원보, **31**(2), 437-449 (1994).
13. 원경풍, 김창민, 소유섭, 서석춘, 정소영, 류순영, 송경희, 김종성, 김형도: 식품 중의 미량금속에 관한 조사연구-농산물(곡류, 두류, 서류, 채소류, 과실류) 중의 미량금속 함유량에 관하여, 국립보건원보, **32**(2), 456-469 (1995).
14. 원경풍, 김낙영, 소유섭, 정소영, 유희경, 김형도, 장문익: 식품 중의 미량금속에 관한 조사연구 -농산물(곡류, 두류, 서류, 채소류, 과실류) 중의 미량금속 함유량에 관하여, 식품의약품안전본부 연보, **1**, 58-70 (1996).
15. 김일영, 김복순, 신기영, 전옥경, 김성단, 장민수, 윤용태, 이은순, 강희곤: 농산물 중의 잔 류농약 및 미량금속에 관한 조사, 서울시 보건환경연구원보, **32**, 163-170 (1996).
16. 김연천, 한선희, 박성규, 양혜란, 이찬수, 이강문: 시중에 유통중인 패류의 중금속 함량에 관한 연구, 서울시 보건환경연구원보, **34**, 110-125 (1998).
17. 김연천, 한선희: 국내 유통 민물어류와 연안산 패류의 중금속 함량에 관한 조사, 한국식품위생안전성학회지, **14**, 305-318 (1999).
18. 김연천, 전옥경, 양혜란, 최영희, 한선희, 이강문: 한강둔치에서 재배된 농작물 중의 미량금속 함량에 관한 연구, 서울시 보건환경연구원보, **35**, 114-126 (1999).
19. 염용태, 배은상, 윤배중: 농작물 중 중금속 오염도와 1일 섭취량 및 허용기준 설정에 관한 연구, 대한예방의학회지, **13**, 3-13 (1980).
20. 송미란, 이서래: 서울시내 대중식사로 부터 중금속의 총섭취량 평가, 한국식품과학회지, **18**, 458-467 (1986) [Lee, S.R.: Contamination and elimination of some heavy metals in Korean meals. *Proc. 7th World Congress of Food Science & Technology-Trends in Food Product Development* (Singapore, October 1987), pp.355-358 (1989)].
21. 조윤승, 최광수, 이우석, 박재주: 특정 유해물질에 대한 생체 폭로도 조사연구(II), 국립환경연구원보, **8**, 305-316 (1986).
22. 송미란: 식품을 통한 유해중금속(Hg, Cd, Pb)의 총섭취량 추정, 기전여자전문대학 논문집, **8**, 273-286 (1988).
23. 보건사회부: 서울시내 대중음식 중 수은함량 검사결과, 보도자료 (1988).
24. 김명희, 조남준, 김정헌, 박성배: 대중식사 중의 총수은 함량 측정, 식품위생학회지, **4**, 21-27 (1989).
25. 김정헌, 조남준, 박성배: 대중음식 중 중금속 함량, 한국영양식량학회지, **18**, 316-320 (1990).
26. 이미경, 이서래: 서울시내 대중식사중 수은의 오염실태 및 총섭취량 평가. 한국식품과학회지 **21**, 276-282 (1989)
27. 김민경, 김원일, 정구복, 윤순강: 우리나라에서 생산된 농산물의 중금속 안전성 평가. 한국환경농학회지, **20**, 169-174 (2001)
28. 식품의약품안전청: 식품과 중금속, 행정간행물 등록번호 40200-65421-37-9919, 28면 (1999).
29. 이효민, 임철주, 김종욱, 최시내, 윤은경, 한지연, 김효미, 김부영: 식품 중 납의 위해성 평가, 식품의약품안전청연보, **3**, 60-73 (1999).
30. 이효민, 임철주, 윤은경, 김종욱, 최시내, 김효미, 한지연, 김부영: 식품 중 카드뮴의 위해성 평가, 식품의약품안전청 연구보고서, **4**, 67-77 (2000).
31. 정 용, 황만식, 양지연, 조성준: 납의 다경로 노출에 의한 건강위해성 평가: 우리나라 일부지역 성인들을 대상으로, 한국환경독성학회지, **14**, 203-216 (1999).
32. 신애자, 권영택, 이서래: 한국인의 평균식단중 중금속 섭취량의 위해도 평가 최종보고서, 107pp. 식품의약품안전청 (2000).
33. 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)
34. WHO: *Guidelines for the Study of Dietary Intake of Chemical Contaminants*. WHO Offset Publication No. 87, 102 pp. WHO, Geneva (1985).
35. 上田雅彦, 田植 榮, 近澤紘史, 間崎眞曲: 米の 水銀汚染と 毛髮中 水銀量に ついて, 食品衛生學雜誌(日本), **19**, 105-111 (1978).
36. 田中涼一, 池邊克彦, 田中之雄, 國田信治: 加工食品中の 重金屬の 含有量 及び 重金屬の 1日 攝取量, 食品衛生學雜誌(日本), **24**, 488-500 (1983).