

## 가공식품 중 중금속 함량 및 안전성 평가

이효정\* · 심지연 · 오현숙 · 장미란 · 이운애 · 이룬경 · 김민아 · 이상민 · 조태용 · 강호일  
대구지방식품의약품안전청 유해물질분석과

### A Study on Heavy Metal Contents in Processed Foods and Their Safety Evaluations

Hyo Jung Lee\*, Jee Youn Shim, Hyun Suk Oh, Mi Ran Jang, Yoon Ae Lee, Ryun Kyung Lee,  
Min-A Kim, Sang Min Lee, Tae Yong Cho, and Ho Il Kang

Hazardous Substances Analysis Division, Daegu Regional Korea Food & Drug Administration

**Abstract** This research was carried out as a survey on the contents of lead, cadmium, and arsenic in processed foods (milk, vegetable oil, and margarine) in Korea. The limits of quantification (LOQs) were Pb 0.3 µg/kg, Cd 0.15 µg/kg, and As 0.45 µg/kg for milk and Pb 0.61 µg/kg, Cd 0.31 µg/kg, and As 0.91 µg/kg for vegetable oil and margarine. The recoveries were 92.6-98.0% for Pb, 91.2-98.9% for Cd, and 97.9-104.7% for As. The average levels of Pb were 2.395 µg/kg for milk, and 7.656 µg/kg for vegetable oil. The average levels of Cd were 0.483 µg/kg for milk, and 0.380 µg/kg for vegetable oil, and levels of As were 0.781 µg/kg for milk, and 1.241 µg/kg for vegetable oil. The results of this study showed that Pb, Cd, and As contents in the whole samples were less than the maximum residual levels in the processed foods that were specified by the Codex standard.

**Keywords:** Pb, Cd, As, processed food, monitoring

## 서 론

급격한 산업 발달로 인한 환경오염에 따라 식품의 오염도 증가되고 있다. 오염물질들은 물, 토양, 공기 등 자연계에 다양하게 존재하고 있으며, 또한 식품의 수확, 저장, 제조, 가공, 조리 및 포장 등의 과정에서도 오염될 수 있다. 중금속은 환경오염이나 식품오염으로 체내로 들어와 축적되며 그 흡수량은 식품 종류와 개인의 건강상태 등에 따라 달라진다. 중금속 중 납, 카드뮴, 비소 등은 자체 독성이 있으면서 축적성도 있어 중추신경 및 신장 독성을 일으켜 심각한 위해를 끼칠 우려가 있다. 현대의 식생활 패턴은 곡류 위주에서 채소, 과일, 육류, 가공식품 등의 소비가 증가되고 있는 추세이다. 특히 가공식품에 있어서 가공방법과 그 종류가 다양해짐에 따라 여러 국제기구에서도 수산물, 축산물 및 농산물 등의 식품 원재료 뿐 아니라 가공식품에서의 각종 오염물질에 대한 규제기준을 강화하고 있다(1,2).

FAO/WHO 합동식품규격위원회(The Joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission)에서는 UNEP(United Nation Environment Programme)에 의해 설립된 GEMS(Global Environment Monitoring System)는 FAO/WHO 합동식품오염물질 모니터링 사업으로 수집한 각국의 식품 중 중금속 등 오염물질 함량에 대한

모니터링 결과를 오염물질의 기준설정에 반영하고 있으며(3), FAO/WHO(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization)와 미국의 FDA(Food and Drug Administration) 및 EPA(Environmental Protection Agency) 등도 국제 식품 규격 중 오염물질의 허용권고 기준을 강화하고 있다(4).

국내에서도 식품원재료 및 가공식품에 대한 중금속 모니터링을 지속적으로 수행하여, 기준·규격을 설정하고 있다(5-12). 현재까지는 식품원재료 즉 농산물, 수산물, 축산물에 대한 중금속 모니터링이 중점적으로 이루어져 왔으며, 가공식품에 대해서도 개별적으로 일부 보고되어 있으나, 좀 더 다양한 주요섭취 가공식품들에 대한 중금속 모니터링 및 기준·규격 설정이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 가공식품 중 우유, 식용유지, 마가린의 납, 카드뮴, 비소 함량을 조사하여 중금속 오염실태를 파악하고 Codex(13) 및 제외국의 기준과 비교함으로써, 국제기준규격과 조화를 이루어 향후 가공식품 중 중금속 기준 제·개정 시 과학적 자료로 활용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

국내 유통되는 주요섭취 가공식품 중 중금속 기준·규격이 설정되어 있지 않은 우유, 식용유지, 마가린을 대상으로 강원, 경기, 경남, 경북, 전남, 전북, 제주 및 충청의 8개 권역을 중심으로 대형할인매장과 재래시장을 중심으로 287건의 검체를 수거하였다. 시료채취는 분석의 대표성과 공정한 검사를 위하여 식품공전 식품별 검체 채취방법에 따라 채취하였고, 수거된 가공식품의 현황은 Table 1, 2와 같다. 수거 시, 가급적 지역 관내 제조회사 제품으로 수거하고, 우유의 경우 이동 시 냉장상태를 유지하였

\*Corresponding author: Hyo Jung Lee, Hazardous Substances Analysis Division, Daegu Regional Korea Food & Drug Administration, Deagu 704-940, Korea  
Tel: 82-53-589-2777  
Fax: 82-53-592-2712  
E-mail: lhj2718@korea.kr  
Received November 1, 2011; revised December 8, 2011;  
accepted December 9, 2011

**Table 1. The collection of processed food products classified by regional places**

	Region								Sum
	Gangwon	Gyeonggi	Gyungnam	Gyungbuk	Jeonnam	Jeonbuk	Jeju	Chungcheong	
Milk	12	19	20	13	4	3	5	38	114
Vegetable oil <sup>1)</sup>	11	45	31	47	10	11	0	18	173
Sum	23	64	51	60	14	14	5	56	287

<sup>1)</sup>57 samples among 173 samples: imported

**Table 2. The collection of processed food products classified by food items**

Food group	Food item	No. of samples	
Milk	Milk	46	114
	Processed milk	68	
Vegetable oil	Soya bean oil	15	150
	Maize (corn) oil	15	
	Rapeseed (canola) oil	15	
	Sesameseed oil	20	
	Perilla oil	15	
	Grapeseed oil	16	
	Palm & Coconut oil	17	
	Others	15	
	Olive oil	22	
Margarine		23	23
Total		287	

다. 우유 수거 시 제품명에 우유로 표시되어 있고 원유의 함량은 70% 이상인 것을 수거대상으로 하였으며 ‘축산물별 기준 및 규격’ 정의에 준해 우유와 가공우유로 분류하였다. 식용유지 수거 시에는 한국식품연감(2009-2010)의 식품수급표(2007) 1인 1일당 식용유지 공급순위를 참고하여(14) 다소비 제품의 비율을 늘려 수거하였으며, 그 종류는 콩기름, 옥수수기름, 카놀라유, 참기름, 들기름, 포도씨유, 팜유, 코코넛유, 올리브유, 마가린, 기타(고추씨유, 홍화유 등) 그룹으로 나누었다. 팜유, 야자유의 경우 말레이시아나 인도네시아로부터 자사제조용으로 수입되므로 시중에서 구매하기 어려워 식품공장에서 식품가공 목적으로 정제된 것을 요청하여 수거하였다.

### 시약 및 초자

분해용 시약으로는 유해중금속 측정용 60% 질산(Junsei Chemical Co., Tokyo, Japan)과 30% 과산화수소수(Junsei Chemical Co.)를 사용하였고 실험에 사용되는 모든 물은 3차 증류수를 사용하였다. 모든 실험초자는 20% 질산에 24시간 침지 후 3차 증류수로 깨끗하게 씻어 사용하였다. ICP-MS 분석을 위한 중금속(납, 카드뮴, 비소)표준용액은 표준액 1000 µg/kg (AccuStandard, New Haven, CT, USA)을 0.5% 질산에 희석하여 사용하였다.

### 시료의 전처리

수거된 가공식품은 균질기(HR 2067, Philips, Eindhoven, The Netherlands)로 균질화하여 시료로 사용하거나, 폴리에틸렌 용기에 담아 저온냉동고(-20°C 이하)에 보관 후 실온에서 해동하여 사용하였다. 시료 약 0.3-1 g을 microwave용 teflon vessel에 취하고 질산과 과산화수소를 넣고 microwave(ETHOS PLUS, Milestone, Vergamo, Italy)를 이용하여 분해하였다(Fig. 3). 분해된 시

험용액은 질산을 모두 휘발시키고 0.5% 질산으로 최종시험액이 10 mL 이 되도록 희석하여 분석에 사용하였다. Microwave 분해 조건은 Table 3과 같다. 산 분해 최적조건을 확립하기 위해 질산과 과산화수소 양을 달리하여 분해한 후 ICP-MS로 잔여 <sup>12</sup>C intensity를 측정하였다(15-17).

### ICP-MS 기기분석

식품공전에서는 중금속 측정에 ICP-AES와 ICP-MS 또는 AAS-Graphite를 제시하고 있다. 이들 중 ICP-MS의 감도가 가장 우수하기 때문에 더 정확한 분석을 위하여 ICP-MS를 이용하였다. ICP-MS(Perkin Elmer, Waltham, MA, USA) 기기조건은 Table 4와 같다. 납, 카드뮴 검량선은 1000 mg/kg의 표준용액을 1, 2.5, 5, 10, 20 µg/kg로 희석하여 사용하였으며, 분석의 정확성을 유지하기 위하여 검체 30개 당 검량선을 반복 측정하였다. 납, 카드뮴, 비소의 회수율은 표준액첨가법(standard addition)을 이용하여 측정하였다.

### 가공식품(우유, 식용유지류 및 마가린) 중 중금속 위해평가

본 연구의 대상 가공식품(우유, 식용유지류, 마가린)을 통해 섭취되는 납, 카드뮴, 비소의 위해성을 평가하여 이들 대상검체에 의한 납, 카드뮴, 비소의 위해수준을 추정하였다. 위해평가는 식품위생법 시행령 제2조 2항 및 Codex의 “식품안전성 위해평가역할에 관한 원칙(Statement of Principle Relating to the Role of Food Safety Risk Assessment)”에 따라 위험성확인, 위험성결정, 노출평가, 위해도결정의 과정으로 수행하였으며, 통계적 기법(분포추정, Crystal ball program 이용) 사용을 위해 식품 중 납, 카드뮴, 비소의 오염도 자료, ‘2005 국민건강영양조사’ 결과보고서를(18) 활용하여 납, 카드뮴, 비소의 노출수준과 위해수준을 확인하였다.

## 결과 및 고찰

### 시료량과 산분해 최적조건

미국 환경청 EPA(U.S. Environment Protection Agency)에서는 method 3052에 유기성분의 물질을 microwave를 이용하여 산분해하는 방법을 제시하고 있는데, 기름류는 0.25 g, 흙 등은 0.5 g에서 최대 1.0 g을 초과하지 말 것을 권하고 있다(19). 또한 환경시료 중 카드뮴, 구리, 납, 아연 분석에 대하여 microwave 분해법과 ISO(International Organization for Standardization) 11466의 습식분해법 및 질산을 이용한 습식분해법을 비교한 연구결과에 따르면, 유기물이 많은 시료 내 중금속을 분석할 때는 microwave 분해법이 우수한 전처리 방법이었다(20). 위의 참고자료들을 토대로 분석해 본 결과 시료량은 우유 약 1 g, 식용유지, 마가린은 약 0.3 g을 취하여 전처리를 수행하였다.

산분해 최적 조건을 설정하기 위해서는 산 분해 후 잔여 <sup>12</sup>C의 상대적인 intensity 값을 비교한 결과 우유의 경우, 7 mL의 질산

**Table 3. The condition of microwave digestion**

Sample	Step	Temp. (°C)	Time (min)	Max. power (W)
Milk, vegetable oil and margarine	1	0-80	5	1000
	2	80-50	3	
	3	50-230	12	
	4	230	20	

**Table 4. The operation condition for ICP-MS**

Spray chamber	Cyclonic type
RF power	1300 W
Ar flow rate (L/min)	Plasma: 17, Auxiliary: 1.3, Nebulizer: 0.89
Interface sampler cone	Nickel, i.d. : 1.1 mm
Interface skimmer cone	Nickel, i.d. : 0.9 mm
Vacuum	Interface: 4 torr, quadrupole: $<3.00 \times 10^{-6}$ torr
Lens voltage	7.55 V
Sample uptake rate	0.20 mL/min.
Analytical masses	$^{208}\text{Pb}$ , $^{114}\text{Cd}$ , $^{75}\text{As}$
Analytes and measurement mode	Standard mode (Pb, Cd), DRC mode (As)

과 1 mL의 과산화수소가 가장 낮은 값을 보였고, 식용유지의 경우 8 mL에서 가장 낮은 잔여  $^{12}\text{C}$  intensity 값을 보였다. 따라서 본 연구에서는 각 시료의 종류에 따라 시료량, 첨가하는 질산과 과산화수소의 양을 달리하여 선정된 최적의 분해조건으로 시료 분해 전처리 과정을 수행하였다.

**정량한계 및 회수율**

납, 카드뮴, 비소의 검량선은 1000 mg/kg 표준액을 혼합 희석하여 1, 2.5, 5, 10, 20  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 측정하였다. 상관계수 0.999 이상의 검량선을 이용하여 검체의 희석배수를 감안하여 계산한 정량한계(limit of quantification, LOQ)는 우유의 경우 납 0.30  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 카드뮴 0.15  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 비소 0.45  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었고, 식용유지, 마가린의 경우 납 0.61  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 카드뮴 0.31  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 비소 0.91  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다(Table 5). 납, 카드뮴, 비소의 회수율 분석은 대상품목 시료에 각 분석원소에 따라 시험용액에서의 최종농도가 5, 20  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이 되도록 표준용액을 첨가하여 10번 반복 실험하여 회수율을 산출하였다. 회수율은 납 92.6-98.0%, 카드뮴 91.2-98.9%, 비소 97.9-105.6% 수준이었으며, 회수율 측정 결과는 Table 6과 같다.

**우유 중 중금속 함량**

우유 중 중금속 분석 결과는 Table 7과 같다. 본 연구에서는 우유 46건, 가공유 68건의 총 114건에 대해 중금속 함량을 분석하였다. 납 평균함량은 우유 2.242  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 가공유 2.499  $\mu\text{g}/\text{kg}$  수준이었고, 카드뮴 평균함량은 우유 0.085  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 가공유 0.752  $\mu\text{g}/\text{kg}$  수준이었다. 비소의 경우, 우유 0.533  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 가공유 0.949  $\mu\text{g}/\text{kg}$  수준이었다. 우유와 가공유의 납, 카드뮴, 비소 평균함량을 비교하면, 가공유에서 납, 비소가 다소 높은 수준을 보였으며 카드뮴의 경우 약 9배 정도 높게 나타났다. 납의 함량 최소 검출수준은 정량한계 이하였고, 최대 검출량은 9.434  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다. 그 결과는 Codex의 우유 납 허용기준 0.02 mg/kg 보다 낮은 수준을 보였다. 한편, 카드뮴 함량의 최대검출수준은 6.529  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 비소 함량의 최대 검출 수준은 4.220  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 나타났다. 우유의 Codex 카드뮴, 비소 허용기준은 설정되어 있지 않으나, 납 함량보다 더 낮은 수준임을 확인하였다. 본 연구 결과는 Fidel 등의(21) 연구

**Table 5. Summary of results from the validation test for Pb, Cd and As classified by food items**

Food group	Parameters	Elements		
		Pb	Cd	As
Milk	LOD ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	0.09	0.04	0.14
	LOQ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	0.30	0.15	0.45
Vegetable oil and margarine	LOD ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	0.18	0.09	0.29
	LOQ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	0.61	0.31	0.91
Correlation coefficient ( $R^2$ )		0.9999	0.9999	0.9999

**Table 6. Recovery test by standard addition method**

Food group	Spiked conc. ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Elements	Recovery (%)	RSD (%)
Milk	5	Pb	98.09	4.30
		As	105.67	1.96
		Cd	96.80	3.23
	20	Pb	98.69	3.04
		As	104.74	5.46
		Cd	93.22	3.06
Vegetable oil and margarine	5	Pb	97.41	7.10
		As	97.91	8.01
		Cd	98.94	2.93
	20	Pb	92.60	9.06
		As	99.18	9.72
		Cd	91.23	8.76

에서 ICP-MS로 분석된 우유의 납 함량  $1.8 \pm 0.2 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 카드뮴 함량  $0.47 \pm 0.13 \mu\text{g}/\text{kg}$ 과 유사한 수준이었다. 또한 Ataro 등의(22) 연구에서는 총 24건의 우유 건조 중량에 대한 납 함량 14 mg/kg, 카드뮴 함량 0.006 mg/kg으로 나타났는데, 우유의 수분함량 약 88%(Food composition table, 제7개정판, 2006, 농촌진흥청 농업과학기술원)임을 감안하면 본 연구 결과는 Ataro 등의 연구 결과보다 더 낮은 수준인 것으로 나타났다. 각 중금속 별 대상검체의 분포도는 Fig. 1과 같다.

**식용유지류, 마가린 중 중금속 함량**

식용유지 및 마가린의 중금속 분석결과는 Table 8과 같다. 식용유지 150건, 마가린 23건의 납 평균 함량은 7.656  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 카드뮴 0.380  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 비소 1.241  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다.

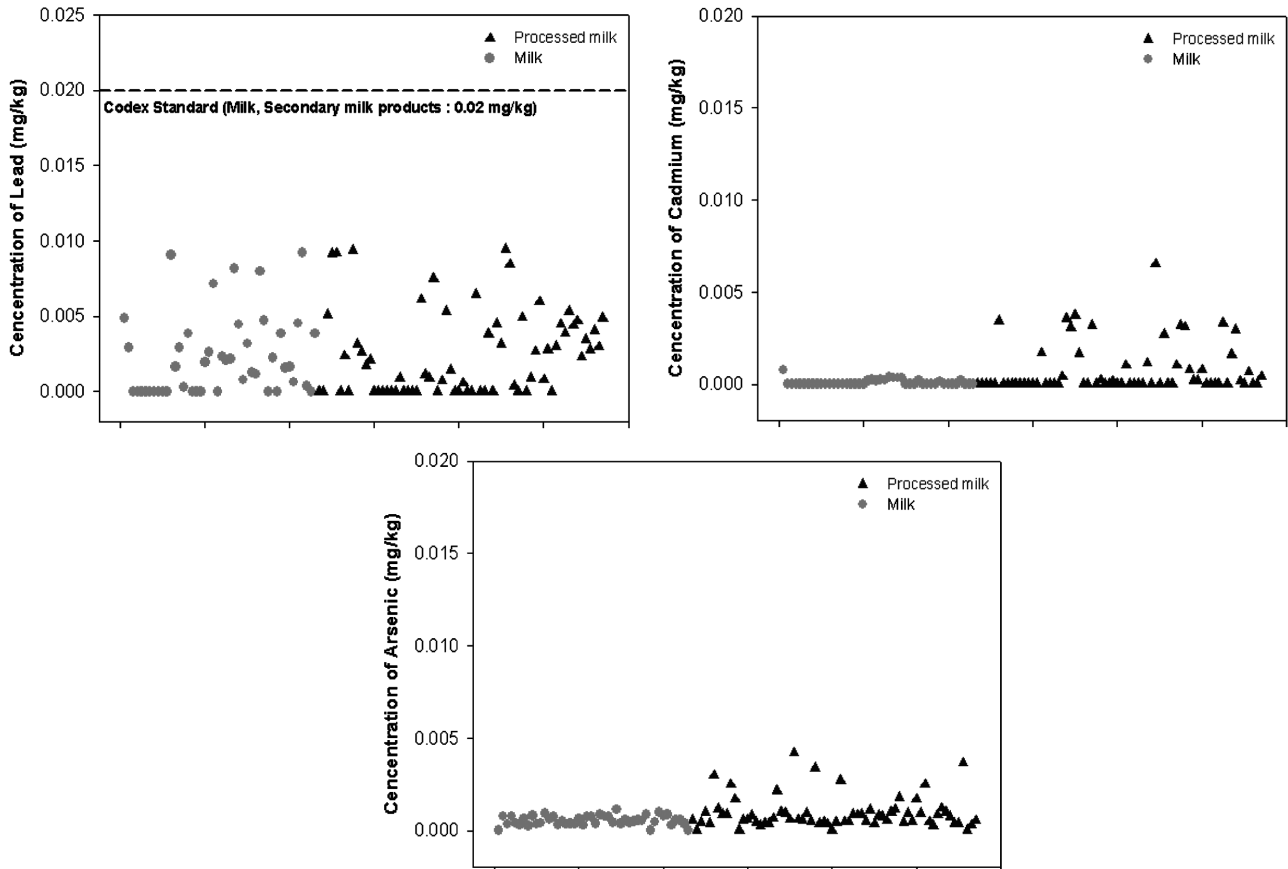
각 식용유지 종류별로는 납 평균 함량 범위가 3.421  $\mu\text{g}/\text{kg}$ (카놀라유)-13.654  $\mu\text{g}/\text{kg}$ (올리브유) 이었고, 카드뮴의 평균함량 범위는 0.059  $\mu\text{g}/\text{kg}$ (마가린)-0.953  $\mu\text{g}/\text{kg}$ (콩기름), 비소의 평균 함량 범위는 0.016  $\mu\text{g}/\text{kg}$ (올리브유)-2.859  $\mu\text{g}/\text{kg}$ (포도씨유)이었다. 식용유지에 대한 납과 비소의 Codex 규격 0.1 mg/kg과 비교해 볼 때 납은 100분의 1, 비소는 10분의 1 수준으로 매우 낮은 수준을 보였다. 카드뮴의 경우 Codex 기준은 설정되어 있지 않으나, 식용유지의 납, 비소의 평균 함량 보다 훨씬 낮은 수준을 보였다. 각 중금속 별 대상검체의 분포도는 Fig. 2에 나타내었다.

**위험성 확인 및 결정**

FAO/WHO 합동 식품첨가물 전문가위원회(The joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA), U.S. EPA 등에 보고된 바에 따라 납과 카드뮴, 비소의 독성자료 등의 위험성을

**Table 7. Contents of Pb, Cd, and As in milks**

Food group	Number of sample	Pb	Cd	As
		Mean±SD (unit: µg/kg) (minimum-maximum)		
Milk	114	2.395±2.735 (1.607-9.434)	0.483±1.101 (N.D.-6.529)	0.781±0.720 (0.571-4.220)
Milk	46	2.242±2.652 (N.D.-9.194)	0.085±0.159 (N.D.-0.770)	0.533±0.257 (N.D.-1.126)
Processed milk	68	2.499±2.804 (N.D.-9.434)	0.752±1.358 (N.D.-6.529)	0.949±0.872 (N.D.-4.220)



**Fig. 1. Distribution of Pb, Cd, and As contents in milks.**

확인하였다. JECFA(1999년)에서 납의 주간잠정섭취허용량(Provisional Tolerable weekly intake, PTWI)을 25 µg/kg b.w./week로 설정하고 있으며, 2003년 카드뮴의 주간잠정섭취허용량(Provisional Tolerable weekly intake, PTWI)을 7 µg/kg b.w./week로 설정하였다. 총비소의 경우, 주간잠정섭취허용량(Provisional Tolerable weekly intake, PTWI)을 350 µg/kg b.w./week으로 설정하고 있다 (23-25).

**노출량 평가**

노출량 평가는 대상 식품에 대한 본 연구과제에서 수행한 모니터링의 자료를 활용하여 납, 카드뮴, 비소 오염도 및 2005년도 국민건강영양조사의 1일 평균식품섭취량을 한국인 평균체중 (55 kg)을 고려하여 인체노출량을 산출하였다. 납, 카드뮴, 비소 오염도 자료 중 불검출 자료는 정량한계 이하 오염도로써 middle value인 LOQ/2로 노출평가에 적용하였으며, 우유의 납 LOQ는

0.30 µg/kg 카드뮴 LOQ는 0.15 µg/kg, 비소의 LOQ는 0.45 µg/kg, 식용유지, 마가린의 경우 납 LOQ는 0.61 µg/kg 카드뮴 LOQ는 0.31 µg/kg, 비소의 LOQ는 0.91 µg/kg로 하였다. 통계적 기법 (Crystal ball program, ver 11.1.1, 분포추정)을 이용하여 식품의 납, 카드뮴, 비소의 오염도, 평균식품섭취량, 체중 및 1일 인체노출량 등의 Monte-Carlo simulation에 의한 노출분포를 추정하였다. 산출된 1일 인체노출량은 Table 9와 같다.

**1일 인체노출량(µg/kg b.w/day)**

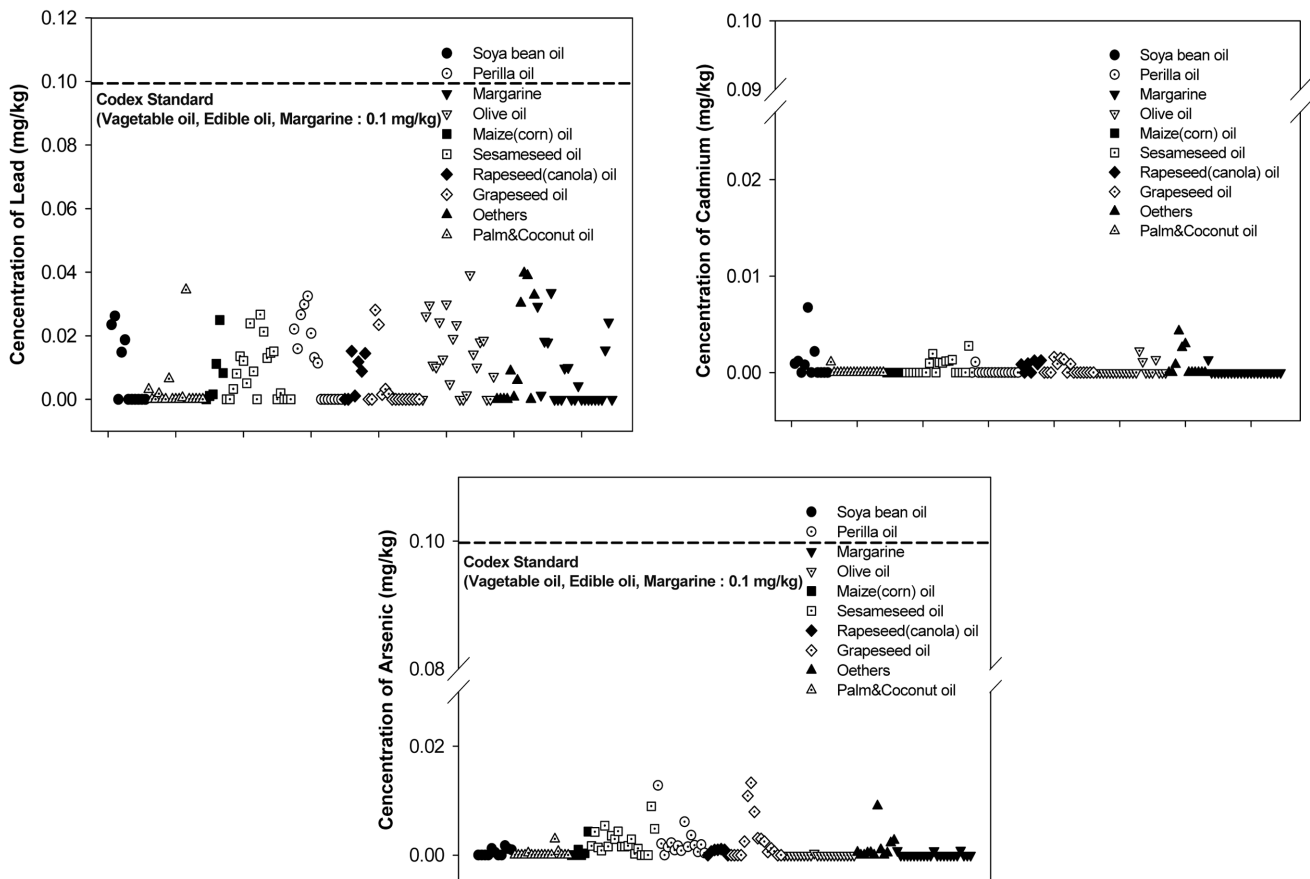
$$= \frac{\sum_{i=1}^n \text{평가대상 가공식품 } i \text{의 납, 카드뮴 또는 비소 오염도(mg/kg)} \times \text{전체인구집단의 평가대상 가공식품 } i \text{ 평균 1일 섭취량(g/day)}}{\text{우리나라 사람들의 평균체중(55 kg)}}$$

**위해도 결정**

대상 식품에 대한 납과 카드뮴, 비소의 1일 인체노출량을 JECFA

**Table 8. Contents of Pb, Cd, and As in vegetable oils and margarines**

Food group	Number of sample	Pb	Cd	As
		Mean±SD (unit: µg/kg) (minimum-maximum)		
Vegetable oil and margarine	173	7.656±11.655 (N.D.-69.013)	0.380±0.853 (N.D.-6.742)	1.241±2.305 (N.D.-13.281)
Soya bean oil	15	5.548±9.807 (N.D.-26.216)	0.953±1.742 (N.D.-6.742)	1.657±2.055 (N.D.-5.372)
Maize (corn) oil	15	7.737±18.292 (N.D.-69.013)	0.322±0.437 (N.D.-1.240)	1.018±1.460 (N.D.-4.336)
Rapeseed (canola) oil	15	3.421±5.864 (N.D.-15.142)	0.660±0.779 (N.D.-2.750)	0.852±1.712 (N.D.-6.752)
Sesameseed oil	20	8.363±8.757 (N.D.-26.645)	0.575±0.816 (N.D.-2.771)	2.454±2.262 (N.D.-8.970)
Perilla oil	15	11.479±12.394 (N.D.-32.459)	0.074±0.286 (N.D.-1.108)	2.540±3.203 (N.D.-12.794)
Grapeseed oil	16	3.623±8.743 (N.D.-28.108)	0.393±0.626 (N.D.-1.610)	2.859±4.173 (N.D.-13.281)
Palm and coconut oil	17	2.693±8.359 (N.D.-34.447)	0.064±0.265 (N.D.-1.094)	0.238±0.727 (N.D.-2.965)
Others	15	11.060±15.568 (N.D.-39.697)	0.713±1.392 (N.D.-4.310)	1.453±2.522 (N.D.-5.007)
Olive oil	22	13.654±11.669 (N.D.-39.226)	0.218±0.589 (N.D.-2.268)	0.016±0.077 (N.D.-0.359)
Margarine	23	7.146±10.689 (N.D.-33.577)	0.059±0.281 (N.D.-1.348)	0.113±0.298 (N.D.-0.931)



**Fig. 2. Distribution of Pb, Cd and As contents in vegetable oils and margarines.**

**Table 9. Human exposure assessment of processed foods**

Sample type	Food intake (g/day)	Exposure of lead (µg/kg b.w./ day)		Exposure of cadmium (µg/kg b.w./ day)		Exposure of arsenic (µg/kg b.w./ day)	
	Mean	Mean	95 <sup>th</sup> percentile	Mean	95 <sup>th</sup> percentile	Mean	95 <sup>th</sup> percentile
Milk	66.5	$3.0 \times 10^{-3}$	$9.9 \times 10^{-3}$	$3.9 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$9.6 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-3}$
Soya bean oil	4.6	$1.5 \times 10^{-4}$	$3.9 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.4 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$4.6 \times 10^{-4}$
Maize (corn) oil	0.2	$6.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-5}$
Sesameseed oil	2.8	$4.2 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-4}$
Perilla oil	0.2	$4.0 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$
Olive oil	0.2	$5.0 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-6}$	$1.7 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-6}$
Margarine	0.1	$1.2 \times 10^{-4}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-7}$	$3.0 \times 10^{-7}$	$8.0 \times 10^{-7}$	$1.1 \times 10^{-6}$
Others	0.1	$7.0 \times 10^{-6}$	$1.5 \times 10^{-5}$	$7.0 \times 10^{-7}$	$2.7 \times 10^{-6}$	$2.4 \times 10^{-6}$	$7.7 \times 10^{-6}$
Total (oil)	8.2	$1.5 \times 10^{-2}$	$2.8 \times 10^{-2}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-4}$	$7.1 \times 10^{-4}$

**Table 10. Human exposure assessment as compared with PTWI<sup>1)</sup>**

Sample type	Risk index of lead		Risk index of cadmium		Risk index of arsenic	
	Mean	95 <sup>th</sup> percentile	Mean	95 <sup>th</sup> percentile	Mean	95 <sup>th</sup> percentile
Milk	$9.0 \times 10^{-4}$	$2.8 \times 10^{-3}$	$3.9 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-5}$
Soya bean oil	$4.0 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.4 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-6}$	$9.0 \times 10^{-6}$
Maize (corn) oil	$1.7 \times 10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-7}$	$4.0 \times 10^{-7}$
Sesameseed oil	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-6}$	$8.0 \times 10^{-6}$
Perilla oil	$1.1 \times 10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$8.0 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-7}$	$8.0 \times 10^{-7}$
Olive oil	$1.4 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-8}$	$4.0 \times 10^{-8}$
Margarine	$3.0 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-7}$	$3.0 \times 10^{-7}$	$1.6 \times 10^{-8}$	$2.0 \times 10^{-8}$
Others	$2.0 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-6}$	$7.0 \times 10^{-7}$	$2.7 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-8}$	$1.5 \times 10^{-7}$
Total (oil)	$4.0 \times 10^{-3}$	$8.0 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-6}$	$1.4 \times 10^{-5}$

<sup>1)</sup>Pb: 25 µg/kg b.w./week, Cd: 7 µg/kg b.w./week, As: 350 µg/kg b.w./week (Inorganic arsenic: 15 µg/kg b.w./week)

의 1일 인체 노출허용량과 비교 평가하여 위해지수를 산출하였다. 산출된 결과는 Table 10과 같다. 2005년 국민건강조사 DB에서 조사대상 인구집단 전체를 대상으로 한 가공식품(우유, 식용유지, 마가린)의 평균섭취량 및 95 percentile 섭취량을 고려하여 산출된 납의 인체노출수준은 우유  $3.0 \times 10^{-3}$ (평균)- $9.9 \times 10^{-3}$ (95<sup>th</sup>) µg/kg b.w./day, 식용유지류  $1.5 \times 10^{-2}$ (평균)- $2.8 \times 10^{-2}$ (95<sup>th</sup>) µg/kg b.w./day이었다. 카드뮴의 인체노출수준은 우유  $3.9 \times 10^{-4}$ (평균)- $1.1 \times 10^{-3}$ (95<sup>th</sup>) µg/kg b.w./day, 식용유지류  $1.1 \times 10^{-4}$ (평균)- $3.8 \times 10^{-4}$ (95<sup>th</sup>) µg/kg b.w./day이었다. 비소의 인체노출수준은 우유  $9.6 \times 10^{-4}$ (평균)- $2.5 \times 10^{-3}$ (95<sup>th</sup>) µg/kg b.w./day, 식용유지류  $2.3 \times 10^{-4}$ (평균)- $7.1 \times 10^{-4}$ (95<sup>th</sup>) µg/kg b.w./day이었다. 본 연구의 대상 식품들의 납, 카드뮴, 비소의 인체노출수준을 JECFA의 납, 카드뮴, 비소의 잠정주간섭취허용량으로 나누어 위해지수를 산출한 결과, 1 보다 훨씬 낮은 수준을 보였다.

식품의약품안전청은 지금까지 축적된 식품 중 중금속 모니터링 결과를 바탕으로 위해성 평가를 수행한 결과, 일상생활에서 전체식품(농산물, 수산물, 가공식품 포함)을 통한 한국인 평균 납의 노출수준은 JECFA(1999년)에서 납의 주간잠정섭취허용량(Provisional Tolerable weekly intake, PTWI), 25 µg/kg b.w./week의 약 9.8% 수준이며, 카드뮴의 경우, 월간잠정섭취허용량(Provisional Tolerable monthly intake, PTMI), 25 µg/kg b.w./week의 약 22.7% 수준, 비소(총비소)의 주간잠정섭취허용량(Provisional Tolerable weekly intake, PTWI), 350 µg/kg b.w./week의 약 6.1% 수준임을 보고하였다(26). 또한 이들 중금속의 노출수준에 기여하는 식품 중 가공식품은 5% 미만으로 보고하였다. 따라서 본 연구에서 평가한 일부 가공식품들의 위해지수와 중금속 노출에

기여하는 식품 중에서도 이들 가공식품의 낮은 기여도를 감안할 때 위해도는 매우 낮은 수준으로 판단된다.

$$\text{위해지수} = \frac{\text{평가대상 가공식품 섭취에 의한 납, 카드뮴 또는 비소 1일 인체노출량}(\mu\text{g/kg b.w./day})}{\text{납, 카드뮴 또는 비소 인체안전수준}(\mu\text{g/kg b.w./day})}$$

- 위해지수 >1 유해영향 발생이 우려됨
- 위해지수 ≤1 유해영향 발생이 우려되지 않음

## 요 약

본 연구에서는 주요섭취 가공식품(우유, 식용유지, 마가린) 3개 품목에 대한 납, 카드뮴, 비소의 기준·규격 설정을 위해 가공식품 총 287건을 전국 8개 권역(강원, 경기, 경남, 경북, 충청, 전남, 전북, 경남, 제주)에서 수거하고 각 시료를 microwave 분해법으로 전처리 하였다. 시료의 산분해 전처리 시 보다 객관화된 시료 전처리 방법의 확립을 위해 잔여 <sup>13</sup>C intensity를 ICP-MS로 측정하여 가장 분해정도가 우수한 조건(검체량, 질산량, 과산화수소량)을 선정하였다. 최적조건에서 전처리한 시료의 납, 카드뮴, 비소 함량은 ICP-MS로 분석하였다. 정량한계(Limit of quantification, LOQ)는 납의 경우, 우유 0.3 µg/kg, 식용유지, 마가린 0.61 µg/kg 이었고, 카드뮴의 경우, 우유 0.15 µg/kg, 식용유지, 마가린 0.31 µg/kg이었다. 비소의 경우, 우유 0.45 µg/kg, 식용유지, 마가린 0.91 µg/kg이었다. 납, 카드뮴, 비소의 회수율은 납 92.6-98.0%, 카드뮴 91.2-98.9%, 비소 97.9-105.6% 수준 이었다 모니터링 결과,

가공식품의 납의 평균함량은 우유 2.395  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 식용유지 7.656  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었으며, 카드뮴의 평균함량은 우유 0.483  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 식용유지 0.380  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다. 비소의 평균함량은 우유 0.781  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 식용유지 1.241  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다. 가공식품의 Codex 납 기준 0.02-0.1 mg/kg, 카드뮴 0.1 mg/kg, 비소 0.1 mg/kg 수준과 비교해 볼 때, 모든 검체에서 기준보다 낮은 수준이었다. 2005년 국민건강조사 DB에서 조사대상 인구집단 전체를 대상으로 위해평가 한 결과 대상 식품들의 납, 카드뮴, 비소의 인체노출수준을 JECFA의 납, 카드뮴, 비소의 잠정주간섭취허용량으로 나누어 위해지수를 산출한 결과, 1.0 보다 훨씬 낮게 나타남으로 위해도는 매우 낮은 수준으로 판단된다.

## 문 헌

- Conor R. Metal Contamination of Food. 3<sup>rd</sup> ed. Blackwell Science Ltd., Melbourne, Australia. pp.5-11, 40-76, 81-188 (1991)
- Jose MC. Food Toxicology. Part B: Contamination and Additives. Marcel Dekker, New York, NY, USA. pp. 1033-1073 (1988)
- Kim MH, Kim JS, Sho YS, Chung SY, Lee JO. The study on heavy metal contents in various foods. Korean J. Food Sci. Technol. 35: 561-567 (2003)
- UNEP/FAO/WHO. The Contamination of Food. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya (1992)
- Kim M, Chang MI, Chung SY, Sho YS, Hong MK. Trace metal contents in cereals, pulses and potatoes and their safety evaluations. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 29: 364-368 (2000)
- Chung SY, Kim M, Sho YS, Won KP, Hong M. Trace metal contents in vegetables and their safety evaluations. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 30: 32-36 (2001)
- Sho YS, Kim J, Chung SY, Kim M, Hong MK. Trace metal contents in fishes and shellfishes and their safety evaluations. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 29: 549-554 (2000)
- Chung SY, Kim JS, Kim EJ, Park SK, Kim M, Hong M, Kim MC, Lee JO. Trace metal contents in tea products and their safety evaluations. Korean J. Food Sci. Technol. 35: 812-817 (2003)
- Kim M, Lee YD, Kim EJ, Chung SY, Park SK, Lee JO. Heavy metal contents in beverage consumed in Korea. Korean J. Food Sci. Technol. 35: 342-346 (2002)
- Lee JK, Chang KE, Seo IW, Yoon CY, Paek OJ, Kim P S, Lee HM, Kim MJ, Roh HJ, Kim SS, Cho BS. Study on hazardous metal contents of circulating vegetables in Korea. The Annual Report of KFDA, Korea 7: 328-332 (2003)
- Lee JO, Sho YS, Oh KS, Kang KM, Suh JH, Lee EJ, Lee YD, Park SS, Kim HY, Woo GZ. Heavy metal survey of agricultural products in Korean circulation market. The Annual Report of KFDA, Korea 9: 953-965 (2005)
- Choi DW, Jung SH. The survey for heavy metal contents in food - survey for heavy metal contents in frequently consumed food. The Annual Report of KFDA, Korea 10: 328-332 (2006)
- CODEX. Codex general standard for contaminations and toxins in food and feed. CODEX STAN 193-1995: 1-44 (Adopted 1995; Revised 1997, 2006, 2008, 2009; Amended 2009)
- Jeon JH. 2009-2010 Food Yearly Statistics in Korea. HNCOM, Seoul, Korea. pp. 201-358 (2009)
- Georgia CL, Araujo MH, Gonzalez AG, Ferreira ARA, Nogueira JA. Effect of acid concentration on closed-vessel microwave-assisted digestion of plant materials. Spectrochim. Acta Part B 57: 2121-2132 (2002)
- Elene P, Nardi FS, Evangelista LT, Tatiana DSP, Adilson JC, Samuel SS, Fernando BJr. The use of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) for the determination of toxic and essential elements in different types of food samples. Food Chem. 112: 727-732 (2009)
- Sandro TG, Fernando VS, Letcia MC, Ana RAN, and Joaquim AN. Determination of residual carbon by inductively-coupled plasma optical emission spectrometry with axial and radial view configurations. Anal. Chim. Acta 445: 269-275 (2001)
- KHIDI. In-Depth analysis on the 3rd (2005) Korea health and nutrition examination survey-nutrition survey. Korea Health Industry Development Institute, Seoul, Korea (2007)
- U.S. EPA. EPA Method 3052, Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. U.S. Environment Protection Agency, Washington, DC, USA (1996)
- Sastre JA, Sahuquillo M, Vidal & Rauret G. Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: microwave-assisted total digestion versus aqua regia and nitric acid extraction. Anal. Chim. Acta 462: 59-72 (2002)
- Martino FAR, Sinchez MLF, Sanz-Medel A. The potential of double focusing-ICP-MS for studying elemental distribution patterns in whole milk, skimmed milk and milk whey of different milks. Anal. Chim. Acta 442: 191-200 (2001)
- Ataro RI, McCrindle BM, Botha CME, McCrindle PP, Ndibewu. Quantification of trace elements in raw cow's milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Food Chem. 111: 243-248 (2008)
- JECFA. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 33<sup>rd</sup> Meeting. Summary and Conclusions. World Health Organization, Geneva, Switzerland (1988)
- JECFA. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 53<sup>rd</sup> Meeting. Summary and Conclusions. World Health Organization, Geneva, Switzerland (1999)
- JECFA. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 61<sup>st</sup> Meeting. Summary and Conclusions. World Health Organization, Rome, Italy (2003)
- Choi H, Park SK, Kim MH, Lee ES. Human risk assessment of heavy metals in food for safety management systems. The Annual Report of KFDA, Korea 14: 115-116 (2010)