



유리제 등 조리기구 중 중금속 이행에 관한 연구

최재천 · 박세종 · 고희아 · 이주연¹ · 엄미옥¹ · 김미혜*

식품의약품안전처 첨가물포장과, ¹경인지방식품의약품안전청 수입식품분석과

A Study on Migration of Heavy Metals from Kitchen Utensils Including Glassware, Ceramics, Enamel, Earthenware and Plastics

Jae-Chon Choi, Se-Jong Park, Hyeah Goh, Ju Yeun Lee¹, Mi Ok Eom¹, and Meehye Kim*

Food Additives and Packages Division, Ministry of Food and Drug Safety, Cheongwon-gun, Korea

¹Imported food analysis division, Gyeongin Regional Food and Drug Administration, Incheon, Korea

(Received August 22, 2014/Revised September 12, 2014/Accepted November 10, 2014)

ABSTRACT - The purpose of our study was to investigate the migration level of lead (Pb), cadmium (Cd), antimony (Sb), arsenic (As), hexavalent chromium (Cr⁶⁺) and mercury (Hg) from cookwares into food simulants and to evaluate the safety of each heavy metals. The test articles for heavy metals were glassware, ceramics, enamel, earthenware, polypropylene and polyethylene cookwares for Pb and Cd, enamel for Sb, earthenware for As, polyethylene and polypropylene cookwares for Cr⁶⁺ and Hg. All the article samples of 391 intended for contact with foods were purchased in domestic markets. Pb, Cd, Sb and As were analyzed by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), Cr⁶⁺ by UV visible spectrophotometer and Hg by mercury analyzer. The migration levels of heavy metals in all the samples were within the migration limits of Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). As a result of safety evaluation, our results showed that the estimated daily intakes (EDI, mg/kg bw/day) were 9.12×10^{-6} and 8.83×10^{-7} for Pb and Cd from ceramics and 1.19×10^{-5} , 1.23×10^{-5} and 7.52×10^{-6} for Pb, Cd and Sb from enamel. Tolerable daily intakes (TDI, mg/kg bw/day) were established respectively as 0.0036, 0.00081, 0.0021, and 0.0006 for Pb, Cd, As and Hg by JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), as 0.0060 for Sb by WHO (World Health Organization). When comparing with TDIs, the EDIs accounted for 0.25% and 0.11% for Pb and Cd from ceramics and 0.33%, 1.52% and 0.13% for Pb, Cd and Sb from enamel.

Key words : glassware, ceramics, cookwares, heavy metal, ICP-OES

현대 식품산업에서 포장은 가공식품의 발달과 더불어 그 역할이 매우 중요해지고 있으며 특히 새로운 포장재와 포장방법의 개발은 특히 식품의 저장성을 향상시키고 다양한 기능성 식품의 생산을 가능하게 하는 등 국민의 식생활 향상에 크게 기여하고 있다. 하지만 정보매체의 발달과 소비자들의 의식 구조가 건강 지향적으로 발전함에 따라 식품포장재의 위생적 안전성 또한 강조되고 있다¹⁾. 현재 식품포장에 주로 사용되고 있는 재료로는 합성수지제, 셀로판제, 고무제, 종이제 또는 가공지제, 금속제, 목재류, 유리제, 도자기제, 범랑 및 용기류, 전분제등이 있다²⁾. 식품포장재(기구 및 용기·포장)는 접촉하는 식품의 특성 뿐만 아니라 마케팅 측면, 기능적 특성, 환경적 특성, 법률적

측면, 가격적 측면 및 기술적인 측면 등 다양한 요인을 고려하여 선정되게 된다. 현재 시장 점유율 면에서 보면 종이제가 34%, 경질 플라스틱이 27%, 유리제가 11%, 연질 플라스틱이 10%, 음료캔류를 포함한 금속제가 15%, 기타가 3%를 차지하는 것으로 보고되고 있다³⁾. 음료를 포함한 식품은 매우 공격적인 물질로서 접촉하는 포장재와 강하게 반응할 수도 있다. 예컨대, 산성식품은 금속재질을 부식시키고, 지방성 식품은 합성수지제의 변형을 가져와 내부 물질을 용출시킬 수 있으며, 음료는 코팅없는 종이제를 분해시키기도 한다.

따라서, 식품포장재는 완전한 불활성 물질은 아니기 때문에 원료로 사용된 화학성분들이 식품으로 용출될 수 있다. 예컨대, 금속제, 유리제, 도자기제, 합성수지제, 고무제 및 종이제 등은 특정 식품과 접촉하는 경우 미량의 화학성분을 식품 중으로 방출할 수도 있다. 식품포장재로부터 식품으로의 화학물질 이행은 두 가지 측면에서 중요성을

*Correspondence to: Meehye Kim, Food Additives & Packages Division, Ministry of Food and Drug Safety, Cheongwon-gun, Korea
Tel: 82-43-719-4351 Fax: 82-43-719-4350
E-mail: meehkim@korea.kr

갔다. 첫째는 식품의 품질을 저하시켜 소비자의 외면을 가져올 수 있다는 것이고, 둘째는 이행된 물질을 충분한 양으로 섭취하는 경우 건강상 위해를 초래할 수도 있는, 즉 식품의 안전성을 위협할 수 있다는 것이다⁴⁾. 이러한 화학성분 중 중금속인 납, 카드뮴, 비소, 안티몬, 6가크롬 및 수은은 식품으로의 이행가능성으로 인하여 한국, 일본 및 유럽에서 기준규격으로 관리되고 있는 물질이다^{5,6)}. 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 납을 그룹 2A(인체 발암 추정 물질)로, 카드뮴, 무기비소 및 6가크롬을 그룹 1(인체 발암성이 있는 물질)로, 안티몬을 그룹 2B(인체 발암 가능 물질), 무기수은을 그룹 3(인체 발암물질로 분류하기 어려움)으로 분류하고 있다⁷⁾. 또한 국제합동식품첨가물전문가위원회(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)는 납, 카드뮴, 비소 및 수은의 일일섭취한계량(Tolerance Daily Intake, TDI)을 0.0036 mg/kg bw/day, 0.00081 mg/kg bw/day, 0.0021 mg/kg bw/day 및 0.0006 mg/kg bw/day⁸⁾로 각각 설정하고 있으며, 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 안티몬의 TDI를 0.0060 mg/kg bw/day⁹⁾로, 미국 환경보호국(US Environmental Protection Agency, EPA)은 6가크롬의 독성참고치(Reference Dose, RfD)를 0.0030 mg/kg/day¹⁰⁾로 설정하고 있다.

본 연구에서는 유리제, 도자기제, 법랑 및 용기류, 폴리 에틸렌제 및 폴리프로필렌제 식품용 기구 및 용기·포장 중 중금속인 납, 카드뮴, 비소, 안티몬, 6가크롬 및 수은의 이행량을 조사한 후, 그 결과를 기구 및 용기·포장 노출량평가 시나리오¹¹⁾에 적용하여 안전성을 평가하고 TDI와 비교하여 위해도를 산출하고자 하였다.

재료 및 방법

대상시료

냄비, 물병 등 유리제 89건, 공기, 양념통 등 도자기제 80건, 저장용기, 컵 등 법랑 28건, 용기류 저장용기 10건, 도마, 랩 등 폴리에틸렌제 103건 및 숟가락, 주걱 등 폴리프로필렌제 81건 총 391건의 식품용 기구 및 용기·포장 제품을 전국의 대형할인매장, 재래시장, 그릇도매상 등에서 구입하여 시료로 사용하였다.

표준품 및 시액

표준품으로 사용한 납, 카드뮴, 비소 및 안티몬은 Fluka 사(Saint Louis, USA), 수은은 NRC사(Ontario, Canada), 크롬산나트륨(Sodium chromate, Na₂CrO₄)은 Sigma-Aldrich (Saint Louis, USA)에서 구입하였고, 초산, 에탄올, n-헵탄 및 1,5-디페닐카바지드(1,5-dephenyl carvazide)는 Sigma-Aldrich사(Saint Louis, USA), 질산과 황산은 Merck사(Darmstadt, Germany)에서 구입하였으며, 증류수는 Waters

사(Massachusetts, USA)의 Mili-Q ultrapure water purification system으로 3차 정제한 것을 사용하였다.

분석조건

납, 카드뮴, 비소 및 안티몬은 ICP-OES(Optima 8300, PerkinElmer, Waltham, MA, USA)를, 6가크롬은 UV(UV-2500, Shimadzu, Nakagyo-ku, Kyoto, Japan)(파장, 540 nm)를, 수은은 수은 분석기(DMA 80, Milestone, Milano, Italy)를 각각 이용하여 분석하였으며, 분석조건은 Table 1~2에 요약하였다.

표준용액 및 시액의 조제

납, 카드뮴, 비소 및 안티몬은 표준품(1,000 mg/L)을 납 50 mg/L, 카드뮴, 비소 및 안티몬이 각각 10 mg/L가 되도록 4% 초산으로 희석한 액을, 6가크롬은 크롬산나트륨 311.5 mg을 정밀히 달아 물에 녹여 1,000 mL로 한 후 이 액 2 mL를 취하여 100 mL로 한 액을 표준용액으로 사용하였고, 수은은 표준용액(0.091 mg/kg)을 별도의 처리 없이 적당 농도가 되도록 수은분석기용 보트에 정밀히 달아 이용하였다. 디페닐카바지드 시액은 1,5-디페닐카바지드 0.25 g을 아세트산 50 mL에 녹인 액을 사용하였다

시험용액의 조제

수거된 검체는 부드러운 스펀지를 이용해 닦은 후 증류수로 충분히 세척한 후 후드에서 검체를 물기가 제거될 때까지 말린 다음 현행 식품용 기구 및 용기·포장 공전에서 규정하고 있는 용출시험용액 조제시의 시료로 사용

Table 1. The operating parameters of ICP-OES

RF power (KW)	1.3
Wavelength (nm)	Cd(228.8), Pb(220.3), As(197.1), Sb(206.8)
Flow gas	Ar
Purge gas	N ₂
Plasma gas flow (L/min)	15
Auxiliary gas flow (L/min)	0.2
Nebulizer gas flow (L/min)	0.55
Pump flow rate (mL/min)	30
Sample uptake delay (sec)	30
Replicate	3

Table 2. The operating parameters of mercury analyzer

Drying temperature (°C)	200
Drying time (sec)	120
Decomposition temperature (°C)	650
Decomposition time (sec)	240
Amalgamator heating temperature (°C)	120
Amalgame time (sec)	12
Recording time (sec)	30

하였다²⁾. 기구로 분류된 유리제, 도자기제, 법랑 및 용기류의 납, 카드뮴, 비소 및 안티몬 용출시험은 4% 초산을 침출용액으로 하여 액체를 채울 수 있는 경우에는 액체를 넣었을 때 넘쳐흐르는 면으로부터 시료 면을 따라 5 mm 아래까지 침출용액을 채워 시계접시로 덮은 후, 액체를 채울 수 없는 경우에는 식품과 접촉하는 면에 대하여 표면적 1 cm²당 2 mL 비율의 침출용액에 접촉시킨 후 암소에서 25°C를 유지하면서 24시간 방치한 액을 시험용액으로 하였다(다만, 비소시험의 경우에는 얻어진 시험용액을 증발시켜 20배 농축시켜 시험함).

폴리에틸렌제와 폴리프로필렌제 기구의 납, 카드뮴, 6가 크롬 및 수은 용출시험은 4% 초산을 침출용액으로 하여 액체를 채울 수 있는 경우에는 60°C로 가온한 침출용액을 넘쳐흐르는 면으로부터 시료 면을 따라 5 mm 아래까지 채우거나, 액체를 채울 수 없는 경우에는 표리가 동일하면 표면적(양면의 표면적을 합산) 1 cm²당 2 mL 비율의 60°C로 가온한 침출용액에 시료를 담근 후, 표리가 동일하지 않으면 식품과 접촉하는 면에 대하여 표면적 1 cm²당 2 mL 비율의 60°C로 가온한 침출용액에 접촉시킨 후 60°C를 유지하면서 30분간 방치한 액을 시험용액으로 사용하였다.

일부 유리제, 폴리에틸렌제 및 폴리프로필렌제 용기·포장의 경우에는 기구 및 용기·포장 용출시험에 대한 식품 유형별 침출용매 적용 가이드¹²⁾에 따라 n-헵탄, 20% 에탄올, 50% 에탄올, 4% 초산 및 물 가운데 하나를 침출용액으로 사용하여 상기 유리제 등의 용출시험법 및 폴리에틸렌제와 폴리프로필렌제의 용출시험법과 동일한 방법으로

시험용액을 제조하였다(다만, n-헵탄을 침출용액으로 하는 경우에는 25°C를 유지하면서 1시간 방치한 액을 시험용액으로 함).

발색이 필요한 6가 크롬은 시험용액 50 mL에 디페닐카바지드 시액 2 mL을 가하여 10% 황산으로 pH 2.0±0.5로 맞춘 다음, 물을 가하여 100 mL로 하여 10분간 방치한 후 최종 시험용액으로 사용하였다.

결과 및 고찰

분석법 검증

직선성, 검출 및 정량한계, 회수율 및 재현성, 측정불확도를 구하고 그 결과를 Table 3~4에 요약하였다.

직선성

유리제, 도자기제, 법랑, 용기류, 폴리에틸렌제 및 폴리프로필렌제 식품용 기구 및 용기·포장에서 이행되는 납, 카드뮴, 비소, 안티몬, 6가크롬 및 수은을 측정하기 위해 표준용액을 농도별로 분석기기에 주입하여 검량선을 작성하였다. 각각의 직선성 R²은 납이 0.015~10.0 mg/L의 농도 범위에서 1.0, 카드뮴이 0.005~1.0 mg/L의 농도 범위에서 0.999, 비소가 0.1~2.0 mg/L의 농도 범위에서 0.998, 안티몬이 0.05~2.0 mg/L의 농도 범위에서 0.999, 6가크롬이 0.02~0.5 mg/L의 농도 범위에서 0.999 및 수은이 0.002~0.05 µg/L의 농도 범위에서 0.999로 모두 우수한 직선성을 확인할 수 있었다.

Table 3. The results of LOD, LOQ, recovery and reproducibility (n = 3)

Elements	R ²	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)	Fortified Con. ¹⁾ (mg/L)	Recovery (%)	RSD (%)	
						Intra-day	Inter-day
Cd	0.999	0.003	0.005	0.005	102.2 ± 3.8	3.6	3.8
Pb	0.999	0.006	0.014	0.015	105.9 ± 3.4	3.5	3.2
As	0.998	0.003	0.006	0.100	94.8 ± 3.7	3.8	3.9
Sb	0.999	0.021	0.048	0.050	103.1 ± 1.0	1.1	1.0
Cr ⁶⁺	0.999	0.002	0.006	0.020	101.8 ± 3.4	3.1	8.8
Hg	0.999	0.0001	0.0003	0.200	103.4 ± 3.4	0.7	3.8

¹⁾Values represent the concentration of standard spiked into 4% acetic acid

Table 4. The uncertainty results¹⁾

Element	Analysis results (mg/L)	Relative uncertainty (u _r)	Combined standard uncertainty (u)	Coverage factor (k)	Expanded uncertainty (mg/L)
Cd	0.1000	0.0262	0.0026	2.1199	0.0055
Pb	1.0000	0.0273	0.0273	2.1448	0.0586
As	1.0000	0.0069	0.0069	2.0687	0.0143
Sb	0.5000	0.0179	0.0179	2.1009	0.0188
Cr ⁶⁺	0.1000	0.0132	0.0013	2.0639	0.0027
Hg	0.0200	0.0187	0.0002	2.0739	0.0004

¹⁾basis of 95% confidence

검출 및 정량한계

침출용액인 4% 초산을 10번 분석하여 X_{BL} (바탕시료 평균농도) + $3 \cdot X_{SD}$ (바탕시료 농도의 표준편차)의 수식을 통해 산출한 값을 검출한계(Limit of detection, LOD)로, X_{BL} (바탕시료 평균농도) + $10 \cdot X_{SD}$ (바탕시료 농도의 표준편차)의 수식을 통해 산출한 값을 정량한계(Limit of quantification, LOQ)로 사용하였다¹³⁾.

회수율 및 재현성

납, 카드뮴, 비소, 안티몬, 6가크롬 및 수은을 각각 0.015, 0.005, 0.1, 0.05, 0.02 및 0.2 mg/L의 농도로 침출용액인 4% 초산에 첨가한 후 각 농도를 측정하고, 첨가한 농도 대비 측정된 농도를 계산하여 회수율을 구하였다. 또한 상기 농도의 각 표준용액을 시험용액의 조제에 따라 처리한 후 하루동안 3반복 분석한 결과의 상대표준편차(Relative Standard Deviation, RSD)로부터 일내(Intra-day) 재현성을, 3일 동안 분석한 결과의 상대표준편차로부터 일간(Inter-day) 재현성을 검증하였다. 모든 회수율은 94% 이상, 일내(Inter-day) 및 일간(Intra-day) RSD는 10%대 이하로 양호한 수준을 보여주었다.

측정불확도

EURACHEM과 GUM^{14,15)}에 근거하여 납, 카드뮴, 비소, 안티몬, 6가크롬 및 수은에 대한 측정불확도 모델 관계식을 설정하고, 각각의 불확도 요인들로부터 불확도를 추정하였다. 분석법에 대한 측정불확도를 산출하기 위하여 불확도 인자를 검토한 후, 요인별 표준불확도 및 자유도 계산을 통해 합성불확도를 구하였다. 불확도 요인은 크게 1. 시료전처리, 2. 표준용액제조, 3. 회수율 및 4. 검량선으로 나누어 각각의 상대불확도와 자유도를 구하였다. 이렇게 얻은 합성불확도와 포함인자(k)를 이용하여 확장불확도를 계산하여 측정불확도를 산출하였다. 합성표준불확도는 측정결과가 여러 개의 다른 입력량으로부터 구해질 때 이 측정 결과의 표준불확도를 불확도 전과의 법칙에 따라 구하였으며, 유효자유도는 합성표준불확도의 유효자유도를 Welch-Satterthwaite식으로 구한 후 포함인자(κ)를 산출하였다.

확장불확도는 산출된 합성표준불확도에 약 95% 신뢰수준에 상당하는 포함인자를 곱하여 산출하였다. 산출된 확장불확도는 카드뮴 0.1000 ± 0.0055 mg/L, 납 1.0000 ± 0.0586 mg/L, 비소 1.0000 ± 0.0143 mg/L, 안티몬 0.5000 ± 0.0188 mg/L, 6가크롬 0.1000 ± 0.0027 mg/L 및 수은 0.0200 ± 0.0004 mg/L 이었다.

각 불확도의 요인이 전체 불확도에서 차지하는 비율은 카드뮴은 시료전처리 4%, 표준용액 제조 8%, 반복측정 25% 및 검량선 63%, 납은 시료전처리 5%, 표준용액 제조 7%, 반복측정 16% 및 검량선 72%, 비소는 시료전처리

13%, 표준용액 제조 22%, 반복측정 30% 및 검량선 35%, 안티몬은 시료전처리 6%, 표준용액 제조 10%, 반복측정 30% 및 검량선 54%, 6가크롬은 시료전처리 13%, 표준용액 제조 24%, 반복측정 23%, 검량선 40%, 및 수은은 시료전처리 13%, 표준용액 제조 31%, 반복측정 33%, 검량선 23%의 비율을 보였다.

이러한 결과는 기구 및 용기·포장 중 중금속 이행량 측정 실험수행 시 가장 많은 불확도가 검량선에서 기인함을 알 수 있었다.

이행량 모니터링 및 안전성 평가 결과

유리제 기구 52건 및 용기·포장 37건, 도자기제 기구 80건, 법랑 기구 28건, 용기류 기구 10건, 폴리에틸렌제 기구 53건 및 용기·포장 50건, 폴리프로필렌제 기구 63건 및 용기·포장 18건을 분석하여 식품유사용매 중 이행량을 조사하고, 이행량 결과를 바탕으로 납, 카드뮴 및 안티몬의 일일추정섭취량(Estimated Daily Intake, EDI)을 산출하고 TDI와 비교하여 위해도를 평가하였다.

80건의 도자기제 기구 중 납은 15건, 카드뮴은 4건이 검출되었으며 납과 카드뮴의 이행량은 각각 불검출~1.088 mg/L과 불검출~0.162 mg/L 이었다. 28건의 법랑 기구 중 납은 2건, 카드뮴은 7건, 안티몬은 1건이 검출되었으며 각각의 이행량은 납이 불검출~0.057 mg/L, 카드뮴이 불검출~0.031 mg/L 및 안티몬이 불검출~0.071 mg/L 이었다. 이와 같은 이행량과 평균이행량의 결과를 Table 5에 요약하였다. 유리제, 용기류, 폴리에틸렌제 및 폴리프로필렌제 기구 및 용기·포장 중 납, 카드뮴, 6가크롬 및 수은은 이행량 시험결과 모두 불검출이었다. 이상의 결과에서 도자기제와 법랑 기구 및 용기·포장 중 납, 카드뮴 및 안티몬 이행량 수준과 폴리에틸렌제와 폴리프로필렌제 식품용 기구 및 용기·포장 중 납, 카드뮴, 6가크롬 및 수은 이

Table 5. The levels of heavy metals migrated from ceramics and enamel into 4% acetic acid at 25°C for 24h (n = 3)

Materials	No. of samples	Elements	Range (mg/L)	Average (mg/L)
Ceramics	80	Pb	ND ¹⁾ ~1.088 (15) ²⁾	0.032
		Cd	ND~0.162 (4)	0.003
Enamel	28	Pb	ND~0.057 (2)	0.004
		Cd	ND~0.031 (7)	0.004
		Sb	ND~0.071 (1)	0.003

¹⁾ND : Not detected (Less than LOQ)
²⁾Number in brackets are the number of samples detected positively

Table 6. The results of safety assessment

		Pb	Cd	Sb
health based guidance levels	TDI (mg/kg bw/day)	0.0036	0.00081	0.0060
ceramics	EDI (mg/kg bw/day)	9.12×10^{-6}	8.83×10^{-7}	
	risk (%) ¹⁾	0.25	0.11	
enamel	EDI (mg/kg bw/day)	1.19×10^{-5}	1.23×10^{-5}	7.52×10^{-6}
	risk (%)	0.33	1.52	0.13

¹⁾risk (%) = (EDI/TDI) × 100

행량 수준은 식품용 기구 및 용기·포장 공전에 명시된 용출 규격 이하로서 안전한 것으로 사료되었다.

기준에 보고된 논문들을 살펴보면, M. Demont et al.¹⁶⁾의 논문에서는 150여개의 도자기제 식품용 용기를 4% 초산을 이용하여 22°C에서 24시간동안 용출하였을 때, 납은 0.11~5.25 mg/L, 카드뮴은 불검출~0.52 mg/L의 수준을 보였고, 영국 식품표준청(Food Standard Agency, FSA)이 도자기제로 이루어진 32건의 여러 가지 식품용 기구들을 같은 조건에서 용출시험 결과 납과 카드뮴이 각각 0.0001~3.8 mg/L, 불검출~0.45 mg/L로 검출되었다¹⁷⁾.

제외국의 결과와 비교해 볼 때, 본 연구의 납과 카드뮴의 이행량 수준은 비슷하거나 더 낮은 수준을 보임을 알 수 있었다. 이처럼 기존의 연구들에서도 특히 도자기제 식품용 기구들에서 납과 카드뮴이 많이 검출되는 이유로는 도자기제 기구에 화려하고 여러 가지 색깔을 지닌 패턴이나 그림들에 쓰인 유약들이 식품유사용매로 용출되어 나오기 때문이라고 볼 수 있다¹⁸⁾. 도자기제 코팅에 많이 쓰이는 유약들은 산화카드뮴과 산화납 등에 여러 가지 무기 원소들(Si, Al, Ba, Co, Cr, Se 등)을 혼합함으로써 화려하고 유려한 색을 낼 수 있다¹⁹⁾. 도자기제의 표면을 코팅하고 있는 유약들은 산성 용액이나 식품과 접촉했을 때, 식품에서 나온 수소이온(H⁺ ion)이 표면의 납이나 카드뮴 등 중금속 이온들과 교환되면서 중금속이 식품으로 용출될 수 있다¹⁷⁾. 하지만 이러한 현상들은 간혹 충분히 높은 온도에서 도자기가 구워지지 못해 표면이 유리화가 되지 못한 제품에서 일어난다²⁰⁾. 따라서 도자기제 제품을 사용할 때는 고온에서 구워내지 않았거나 유약을 바르지 않은 제품 등은 식품용으로 사용하지 말고 장식용이나 인테리어 용도로만 사용해야 할 것으로 권고된다.

안전성평가는 이행물질에 대한 EDI와 일일허용섭취량(Acceptable Daily Intake, ADI) 또는 TDI를 비교하여 위해도를 평가함으로써 이루어진다²¹⁾. 이를 통해 해당 기구에 식품을 담아 먹거나 해당 용기·포장재에 포장된 식품을 섭취하였을 경우 안전성이 보장될 수 있는지 여부를 판단하게 된다. EDI는 식이 중 이행물질 농도와 사람이 하루에 섭취하는 식이의 무게의 곱으로 얻어진다¹¹⁾.

이 때, 식이 중 이행물질 농도는 하루 식품 섭취량 중에서 특정 재질과 접촉할 것으로 예상되는 식이가 차지하

는 양인 소비계수와 특정재질이 식품유형(수성, 산성, 알코올성, 지방성) 별로 접촉하는 비율인 식품유형분배계수를 고려하여 산출한다. 즉, 현행 식품용 기구 및 용기·포장 공전에 따라 식품유사용매(물, 4% 초산, 20% 에탄올 및 n-헵탄)별로 용출시험 후 얻어진 이행량에 식품유형분배계수를 곱한 후, 특정 재질의 소비계수를 곱하면 식이 중 이행물질의 농도를 얻을 수 있다. 결론적으로 식품용 기구 및 용기·포장 중 중금속의 EDI는 중금속 이행량 × 식품유형분배계수 × 소비계수 × 하루에 섭취하는 식이의 무게로 산출된다.

도자기제 기구 및 용기·포장으로부터 이행되는 납과 카드뮴의 EDI(mg/kg bw/day)는 각각 9.12×10^{-6} 와 8.83×10^{-7} 으로 납과 카드뮴의 TDI(mg/kg bw/day)인 0.0036 및 0.00081와 비교하였을 때 위해도는 0.25% 및 0.11% 수준이었다. 법랑 기구 및 용기·포장으로부터 이행되는 납, 카드뮴 및 안티몬의 EDI(mg/kg bw/day)는 각각 1.19×10^{-5} , 1.23×10^{-5} 및 7.52×10^{-6} 으로 산출되었고 납, 카드뮴 및 안티몬의 TDI(mg/kg bw/day)인 0.0036, 0.00081 및 0.0060과 비교하였을 때 위해도는 0.33%, 1.52% 및 0.13% 수준이었다(Table 6).

검토된 안전성 평가 항목들은 TDI 대비 위해도가 0.11~1.52%로 국민 생활 건강에 위해를 끼치지 않는 안전한 수준인 것으로 사료되었다.

감사의 말씀

본 연구는 2013년도 식품의약품안전처 연구개발사업의 연구비지원(13161식품안024)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

요 약

국내 유통 중인 총 391건의 유리제, 도자기제, 법랑, 용기류, 폴리에틸렌제 및 폴리프로필렌제 식품용 기구 및 용기·포장 중 이행 우려가 있는 납, 카드뮴, 비소, 안티몬, 6가크롬 및 수은에 대하여 이행량을 조사하고 안전성 평가를 실시하였다. 29건의 도자기제 및 법랑 검체에서 현행 식품용 기구 및 용기·포장 공전상의 용출규격 이하인

납, 카드뮴 및 안티몬이 이행되었다.

이행량 결과를 토대로 안전성 평가 시나리오에 적용하여 이행된 납, 카드뮴 및 안티몬의 EDI를 산출한 후 TDI와 비교하여 위해도를 평가하였다. 도자기제 기구 이행 납 및 카드뮴의 위해도는 TDI 대비 0.25%, 0.11% 수준이었고 법랑 기구 이행 납, 카드뮴 및 안티몬의 위해도는 TDI 대비 0.33%, 1.52% 및 0.13% 수준이었다. 결론적으로 검토된 평가 항목들의 위해도는 TDI 대비 최대 1.52%에 불과한 것으로 조사되어 안전한 수준인 것으로 사료되었다. 이러한 결과들은 앞으로 기구 및 용기·포장의 안전관리를 위한 과학적인 근거자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 문주석, 조양희, 유화춘: 기구·용기·포장의 안전성 확보 방안 수립에 관한 연구, 한국식품위생연구원, 1997.
- 식품용 기구 및 용기·포장 공전, 식품의약품안전처, 2013.
- <http://www.foodpackagingforum.org/food-packaging-health/food-packaging-materials>.
- Karen A. Barnes, C. Richard Sinclair and D.H. Watson: Chemical migration and food contact materials, CRC Press, 2007.
- Specifications and standards for foods, food additives, etc. under the food sanitation act (Abstract), Japan External Trade Organization (JETRO), 2010.
- Council directive on the approximation of the laws of the member states relating to ceramic articles intended to come into contact with foodstuffs (84/500/EEC), European Communities, **L110**, 36, 2005.
- International Agency for Research on Cancer (IARC): Agents classified by the IARC monographs, 1-109, 2014.
- <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database>.
- World Health Organization (WHO) : Chemical fact sheets, 2011.
- <http://www.epa.gov/iris/subst/0144.htm>.
- Guidance for industry: Preparation of premarket submission for food contact substances: Chemistry recommendations, US FDA, 2007.
- 기구 및 용기·포장 용출시험에 대한 식품유형별 침출용매 적용 가이드, 식품의약품안전처, 2011.
- AOAC guidelines for singles laboratory validation of chemical methods for dietary supplements and botanicals, AOAC, 1-38, 2002.
- Elison S. L. R., Roesslein M. L., Williams A. : Quantifying uncertainty in analytical measurement, EURACHEM, 32-94, 2000.
- Guide to the expression of uncertainty in measurement, International Organization for Standardization (ISO), 1995.
- M. Demont, K. Boutakhrif, V. Fekete, F. Bolle, J. Van Loco: Migration of 18 trace elements from ceramic food contact material: Influence of pigment, pH, nature of acid and temperature, Food and Chemical Toxicology, **50**, 734-743, 2012.
- An investigation of the migration of metals from glazed ceramic ware, FSA, 2003.
- Norita Mohamed, Y. M. Chin, F. W. Pok: Leaching of lead from local ceramic tableware, Food Chemistry, **54**, 245-249, 1995.
- Susan C. Hight, Determination of lead and cadmium in ceramicware leach solutions by graphite furnace atomic absorption spectroscopy: Method development and interlaboratory trial, Journal of AOAC International, **84**, 861-872, 2001.
- E. Gonzalez-Soto, V. Gonzalez-Rodríguez, C. Lopez-Suarez, J. M. Castro-Romero, J. Perez-Iglesias, J. M. Fernandez-Solis: Migration of lead and cadmium from ceramic materials used in food preparation, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, **65**, 598-603, 2000.
- Jerome H: Food packaging regulation in the united states and the european union, The online resource for packaging law, 2005.