

국내 유통 식품용 유리제의 중금속 노출 평가

김은비 · 황정분 · 이정은 · 최재천 · 박세종 · 이종권*

식품의약품안전평가원 식품위해평가부 첨가물포장과

Exposure Assessment of Heavy Metals Migrated from Glassware on the Korean Market

Eunbee Kim, Jung Boon Hwang, Jung Eun Lee, Jae Chun Choi, Se-Jong Park, and Jong Kwon Lee*

Food Additives and Packaging Division, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Cheongju, 28159, Republic of Korea

ABSTRACT The purpose of our study was to investigate the migration level of lead (Pb), cadmium (Cd), and barium (Ba) from glassware into a food simulant and to evaluate the exposure of each element. The test articles were glassware, including tableware, pots, and other containers. Pb, Cd, and Ba were analysed by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The analytical performance of the method was validated in terms of its linearity, limit of detection (LOD), limit of quantification (LOQ), recovery, precision, and uncertainty. The monitoring was performed for 110 samples such as glass cups, containers, pots, and bottles. a food simulant. Migration test was conducted at 25°C for 24 hours in a dark place using 4% acetic acid as a food simulant. Based on the data; exposure assessment was carried out to compare the estimated daily intake (EDI) to the human safety criteria. The risk levels of Pb and Ba determined in this study were approximately 1.9% and 0.3% of the provisional tolerable weekly intake (PTWI) and tolerable daily intake (TDI) value, respectively, thereby indicating a low exposure to the population.

Keywords Heavy metal, Food contact glassware, Migration, Food simulant, Exposure assessment

서 론

식품용 유리제는 화학적으로 내구성이 뛰어나며, 물이나 산을 함유한 식품을 보관하여도 부식되거나 반응하지 않아 주로 컵, 접시와 같은 식기류, 냄비, 용기 등의 다양한 용도로 사용된다¹⁾. 2020년 국내 식품 등 생산실적 통계에 따르면 ‘유리, 도자기, 법랑 및 용기류’는 전체 기구·용기·포장에서 생산량으로는 약 15%, 판매량으로는 약 26%를 차지하는 것으로 보고되었다²⁾. 일반적으로 사용되는 유리제의 대부분은 소다석회 유리(soda-lime glass, $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot 5\text{SiO}_2$)로 실리카(SiO_2), 석회석(CaCO_3) 및 소다회(Na_2CO_3)를 혼합하여 만들어지며, 내열유리인 붕규산 유리(borosilicate glass)는 4~8% 산화나트륨(Na_2O)과 산화칼륨(K_2O), 및 7~13%

붕사(B_2O_3)를 혼합하여 만들어진다³⁻⁵⁾. 유리는 재활용률이 매우 높은 포장재질로 유럽 통계자료에 따르면 2018년 유럽 28개국의 평균 유리 재활용률은 76%에 달하며 2030년까지 90%를 목표로 하고 있다^{6,7)}. 하지만 재활용 과정에서 식품용 유리 이외의 유리(전구, TV 스크린 유리, 크리스탈 등)가 혼합될 경우 납 등의 중금속 오염이 발생할 수 있다고 보고된 바 있다⁸⁾. 또한 코로나 시대 폐플라스틱 처리 문제가 글로벌 이슈가 되고 유리제가 친환경 재질로 인식되면서 시장 점유율은 꾸준히 증가하고 있으며 유통 제품 중 수입산 비율도 50% 이상으로 다양한 제품들이 시장에 유통됨에 따라 기준규격에 대한 주기적인 모니터링을 통해 위해 오염물질에 대한 노출 수준을 확인할 필요가 있다.

국내 식품용 유리제는 납 및 카드뮴에 대해 용출규격으로 관리되고 있으며 액체를 채울 수 있는 경우, 채울 수 없는 경우, 가열조리 가능 여부, 용기의 용량으로 구분하고 있다. 우리나라와 일본의 규격은 동일하며 유럽의 경우 일부 국가들은 EU Directive 84/500/EEC에 따른 세라믹의 납 및 카드뮴의 용출규격을 유리제에 적용하거나⁹⁾ 국가별

*Corresponding Author: Jong Kwon Lee
Food Additives and Packaging Division, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Cheongju, 28159, Republic of Korea
Tel: +82-43-719-5501, Fax: +82-43-719-4350
E-mail: jkleeest@korea.kr

개별 기준을 설정하여 관리하기도 한다. 이 외 중금속에 대해서는 Cho 등¹⁰⁾이 납과 카드뮴을 포함하여 유리제에서 용출될 수 있는 중금속 15종에 대해 조사한 결과, 여러 중금속 가운데 바륨의 검출빈도와 용출량이 비교적 높은 것으로 확인된 바 있었다. 바륨화합물은 백색안료나 안료의 기재, 범랑용 유약 등에 사용된다. 현재 유리제 중 바륨의 기준은 없으나 폴리염화비닐리덴(PVDC)에 바륨이 안정제로 사용될 수 있어 바륨 용출량을 1 mg/L 이하로 설정하고 있으며, 네덜란드에서는 유리제 중 바륨 용출량을 1 mg/kg 이하로 관리하고 있다. 선행연구 결과 크리스탈 유리제 일부에서 바륨 용출량이 1 mg/L를 초과하는 시료가 있어 본 연구에서는 보다 다양한 유리제 시료를 대상으로 납, 카드뮴 및 바륨의 용출량을 조사하고 노출수준을 평가하였다.

국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 무기납을 그룹 2A(인체 발암 추정 물질)로 카드뮴을 그룹 1(인체 발암성이 있는 물질)로 분류하였으나 바륨은 발암물질로 분류하고 있지 않다¹¹⁾. 1986년 국제식량농업기구/세계보건기구 합동 식품첨가물 전문가위원회(The Joint FAO/WHO Expert Committee Report on Food Additives, JECFA)는 납의 주간최대섭취허용량(Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI)을 25 µg/kg bw/week로 정하였으나 2010년 용량반응관계 등을 평가한 결과, 역치에 대한 근거 부족으로 철회되었으며¹²⁾, 카드뮴의 월간섭취한계량(Provisional Tolerable Monthly Intake, PTMI)을 25 µg/kg bw/month로 설정하였다¹³⁾. 식품의약품안전평가원에서는 납의 인체안전기준으로 10% 기준용량하한값(Benchmark Dose Lower bound₁₀, BMDL₁₀)을 성인에 대해 0.65 µg/kg bw/day, 어린이에 대해 0.50 µg/kg bw/day로 평가하고 있다. 바륨에 대해서는 유럽위원회(European Commission, EC)에서 일일섭취한계량(Tolerable Daily Intake, TDI)을 20 µg/kg bw/day로 정하고 있다¹⁴⁾.

식품용 유리제에서 용출되는 납 및 카드뮴 모니터링 자료는 충분히 축적되어 있으나^{15, 16)} 우리나라에서는 바륨의 용출규격이 없어 그간 축적된 안전성 평가 자료가 미흡한 수준이며, 특히 바륨에 대해서는 모니터링 자료 조차 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 식품용 유리제 110건을 대상으로 납, 카드뮴 및 바륨의 용출량을 조사한 후, 그 결과를 기구 및 용기·포장 안전성평가 방법에 따라 일일섭취량을 추정하고 인체안전기준과 비교하여 위해도를 산출하고자 한다.

재료 및 방법

1. 표준품 및 시약

표준품으로 사용한 납, 카드뮴 및 바륨과 식품모사용매로 사용한 초산은 Sigma-Aldrich사(St. Louis, MO, USA)에서

구입하여 사용하였다. 실험용 물은 Millipore 사(Bedford, MA, USA)의 Milli-Q ultrapure water purification system에 의해 18.2 mΩ 수준에서 제조하여 사용하였다. 실온에 보관된 납, 카드뮴 및 바륨 표준품은 1,000 mg/L 상용표준품을 4% 초산으로 희석하여 납은 0.01~1 mg/L, 카드뮴과 바륨은 0.002~0.2 mg/L가 되도록 제조하여 사용하였다.

2. 대상시료

시료는 일반적으로 사용되는 소다석회유리, 내열유리용으로 사용되는 붕규산유리 및 산화납(PbO)을 포함하는 크리스탈 유리제로 분류하였다. 소다석회유리 36건, 붕규산유리 54건 및 크리스탈 유리 20건 총 110건의 식품용 기구 및 용기·포장 제품을 국내 마트, 백화점 및 온라인에서 구입하여 시료로 사용하였다. 시료는 컵(37건), 병(19건), 저장용기(18건), 티포트(10건), 볼(9건), 냄비(6건) 약탕기(6건) 및 직화용 주전자(5건)로 구성된다.

3. 분석조건

납, 카드뮴 및 바륨의 분석은 PerkinElmer사(Waltham, MA, USA)의 유도 결합 플라즈마 원자 방출 분광기(ICP-OES) Optima 8300 모델에 S10 Autosampler를 장착하여 사용하였고 분석조건은 Table 1에 요약하였다.

4. 분석법 검증 방법

분석법은 직선성(Linearity), 검출한계(Limit of Detection, LOD), 정량한계(Limit of Quantification, LOQ), 회수율(Recovery) 및 정밀도(Precision)를 통해 검증되었다. 직선성은 표준용액 범위(납, 0.01~1 mg/L; 카드뮴 및 바륨, 0.002~0.2 mg/L)의 검정곡선의 상관관계수(R²)로 확인하였다. 공시료에 대한 최소 6회 반복 측정 평균 농도를 \bar{X}_{BL} , 최저농도 표준액의 최소 6회 반복에 대한 표준편차를 S_{BL} 로 하여 검출한계 및 정량한계는 각각 $\bar{X}_{BL} + 3s_{BL}$ 과 $\bar{X}_{BL} + 10s_{BL}$ 로 계산되었다¹⁷⁾. 회수율(%)로 표현된 정확도(Accuracy)는 분석물질이 검출되지 않음을 확인한 시료에 세 농도의 혼합표준액을 가한 후 측정하였다(납, 0.02, 0.1, 1 mg/L; 카드

Table 1. The operating parameters of ICP-OES

Parameter	Condition
RF power (W)	1,350
Wavelength (nm)	Pb (220.352), Cd (228.801), Ba (455.403)
Flow gas	Ar
Purge gas	N ₂
Plasma gas flow (L/min)	Ar, 10.0
Auxiliary gas flow (L/min)	Ar, 0.20
Nebulizer gas flow (L/min)	Ar, 0.55
Replicate	3

물, 0.004, 0.02, 0.2 mg/L; 바륨, 0.002, 0.02, 0.2 mg/L). 정밀도는 회수율에 적용된 저, 중, 고농도에 대하여 1일 3회 반복 분석한 결과의 상대표준편차(Relative Standard Deviation, RSD)로부터 일내(intra-day) 재현성과 1일 이상의 편차를 두고 3일간 분석일을 달리하는 일간(inter-day) 재현성으로 검증되었다. 측정불확도는 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)에서 발행한 측정불확도 표현 지침서(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, GUM)¹⁸⁾와 유럽분석화학 중심 가이드라인 지침서(A Focus for Analytical Chemistry in Europe, EURACHEM)¹⁹⁾에 따라 근거하여 모델관계식을 설정하고, 각각의 불확도 요인들로부터 불확도를 추정하였다.

5. 시험용액의 조제

수거된 시료는 용출하기 전 증류수를 이용하여 세척 후 건조하여 사용하였다. 유리제의 납, 카드뮴 및 바륨의 용출 시험은 4% 초산을 침출용액으로 하여 식품용 기구 및 용기·포장 공전²⁰⁾의 2-6 재질별 용출시험용액의 조제에 따라 액체를 채웠을 때 넘쳐흐르는 면으로부터 시료 면을 따라 5 mm 아래까지 침출용액을 채워 시계접시로 덮은 후 암소에서 25°C를 유지하며 24시간 방치한 액을 시험용액으로 하여 ICP-OES로 분석하였다.

6. 안전성평가 방법

유리제 110건 중 납, 카드뮴 및 바륨에 대한 용출량 조사 결과를 바탕으로 하루 식이를 통해 체내 유입될 수 있는 일일추정섭취량(Estimated Daily Intake, EDI)을 산출하고 인체안전기준과 비교하여 안전성을 평가하였다. 일일추정섭취량은 식[1]~[3]에 나타난 바와 같이 국민건강영양조사로부터 우리나라 사람의 1일 평균 식품섭취량에 재질 소

비계수 CF_m(consumption factor)을 적용하고 식품 유형별 분배계수 f_f(food-type distribution factor)가 반영된 용출농도 Cs를 곱하여 산출하였다²¹⁾. 일일 평균 식품섭취량과 체중은 2016년 국민건강영양조사 결과를 참고하여 각각 1.55 kg/person과 60.6 kg/person을 적용하였다²²⁾. 식품접촉 물질에 대한 노출 및 위해도평가는 용출 물질의 일일추정섭취량을 인체안전기준으로 나뉜 값으로 위해도(%)를 산출하였다^{23, 24)}. 또한 본 연구에서는 전체 모집단과 노출 수준 상위 95% 집단에 대한 노출 및 위해도 평가를 함께 수행하였다.

$$EDI (\mu\text{g/kg bw/day}) = \frac{\text{Food consumption (kg/person bw/day)} \times \text{Dietary concentration of substance } (\mu\text{g/kg})}{\text{Body weight (kg/person)}} \quad [1]$$

$$M = \text{Consumption factor (CF}_m) \times \text{Migration } <M> \quad [2]$$

$$\text{Migration, } <M> = \sum f_f \times C_s \quad [3]$$

결과 및 고찰

1. 분석법 검증 결과

납, 카드뮴 및 바륨의 유효성은 직선성(R²), 검출한계, 정량한계, 회수율(%) 및 정밀도(RDS, %)로부터 검증되었다. 세 물질의 혼합표준액 농도는 납 0.01 ~ 1 mg/L, 카드뮴과 바륨 0.002 ~ 0.2 mg/L로 혼합표준액의 검량선을 작성하여 Table 2와 같이 상관계수 값(R²)이 0.999 이상인 양호한 직선성을 확인하였다. 중금속 3종의 검출한계 및 정량한계는 각각 0.0001 ~ 0.0021 및 0.0003 ~ 0.0069 mg/L이며, 농도별 회수율과 일내, 일간 정밀도는 모두 유럽연합 공동연구

Table 2. Recovery and precision of Pb, Cd, and Ba in 4% acetic acid

Element	Spiked level (mg/L)	Recovery (%) ¹⁾		Precision (RSD, %)		Linearity ²⁾ (R ²)	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)
		Intra-day (n = 3)	Inter-day (n = 9)	Intra-day (n = 3)	Inter-day (n = 9)			
Pb	0.02	102 ± 0.6	101 ± 1.7	0.56	1.69	0.999	0.0021	0.0069
	0.1	105 ± 0.6	103 ± 3.8	0.55	3.66			
	1	101 ± 0.6	102 ± 2.3	0.57	2.27			
Cd	0.004	102 ± 1.2	101 ± 3.5	1.13	3.46	1.000	0.0005	0.0018
	0.02	103 ± 1.0	105 ± 3.9	0.97	3.69			
	0.2	102 ± 1.0	104 ± 1.4	0.96	1.37			
Ba	0.002	101 ± 1.3	102 ± 3.3	1.25	3.26	0.999	0.0001	0.0003
	0.02	101 ± 1.5	103 ± 2.0	1.51	1.91			
	0.2	101 ± 0.4	103 ± 1.9	0.42	1.85			

¹⁾Mean ± SD.

²⁾Linearity range: Pb, 0.01 to 1 mg/L; Cd and Ba, 0.002 to 0.2 mg/L.

Table 3. Uncertainty components, combined standard uncertainty and expanded uncertainty for the analysis of Pb, Cd, and Ba

Element	Results (mg/L) ¹⁾	Relative uncertainty (ur)	Combined standard uncertainty (u)	Effective degree of freedom	Coverage factor (k)	Expanded uncertainty (mg/L) ²⁾
Pb	0.111	0.060	0.007	23	2	0.013
Cd	0.022	0.041	0.001	46	2	0.002
Ba	0.022	0.051	0.001	29	2	0.002

¹⁾Spiked concentration: Pb 0.1 mg/L; Cd 0.02 mg/L; Ba 0.02 mg/L.

²⁾Basis of 95% confidence.

센터(EU Joint Research Center, EU JRC) 가이드라인에 적합한 수준이었다²⁵⁾.

측정불확도는 GUM¹⁸⁾과 EURACHEM¹⁹⁾에 따라 추정되었는데, 확인된 불확도 인자는 전처리, 표준용액 제조, 검량선 및 회수율이었다. 확장불확도는 산출된 합성표준불확도에 약 95% 신뢰수준에 해당하는 포함인자 $k=2$ 를 적용하여 구하였고 결과는 Table 3과 같다. 산출된 확장불확도는 납 0.111 ± 0.013 mg/L, 카드뮴 0.022 ± 0.002 mg/L 및 바륨 0.022 ± 0.002 mg/L이었다. 각 불확도 인자의 상대기여도가 최종 실험값에 미치는 영향은 납은 표준용액 제조 10%, 회수율 19%, 시료전처리 20% 및 검량선 51%, 카드뮴은 표준용액 제조 15%, 시료전처리 25%, 검량선 25% 및 회수율 35%, 및 바륨은 표준용액제조 12%, 회수율 22%, 시료전처리 22% 및 검량선 44%의 비율을 보였다. 이러한 결과는 기구 및 용기·포장 중 중금속 이행량 측정 실험행

시 가장 많은 불확도가 납과 바륨의 경우 검량선에서 카드뮴의 경우 회수율에서 기인함을 알 수 있었다.

2. 이행량 모니터링 결과

유리제 110건의 시료에 대해 4% 초산을 식품모사용매로 하여, 납, 카드뮴 및 바륨의 이행량을 조사한 결과 총 54건의 시료에서 납 혹은 바륨이 검출되었으며, 카드뮴은 모든 시료에서 검출되지 않았다(Table 4). 납의 용출량은 불검출 ~ 0.7949 mg/L, 바륨은 불검출 ~ 0.1823 mg/L 수준이었다. 납은 총 110건의 시료 중 소다석회 유리제 3건, 크리스탈 유리제 3건에서 검출되었으며, 검출된 납의 용출량은 산화납이 사용되는 크리스탈제²⁶⁾에서 상대적으로 높게 검출되었으나(최대 0.795 mg/L) 모두 기준규격 이하였다. 최근 시장에는 납화합물을 사용하지 않는 크리스탈 제품이 더 많이 유통되고 있다. 바륨의 경우 검출률은 49%로 110

Table 4. Concentration levels of Pb, Cd, and Ba migrated from glassware into a food simulant (4% acetic acid) at 25°C for 24 hours

Type of sample (No. of samples)		Migration concentration (mg/L)		
		Pb	Cd	Ba
Soda-lime silicate (36)	Cup (16)	ND ¹⁾ ~0.0955 (2/16)	ND	ND~0.1009 (12/16)
	Bottle (12)	ND~0.0109 (1/12)	ND	ND~0.0721 (10/12)
	Storing container (3)	ND	ND	0.0011~0.0063 (3/3)
	Bowl (3)	ND	ND	ND~0.0007 (2/3)
	Tea pot (2)	ND	ND	ND
	Average	0.0040 (ND~0.0955)	ND	0.0093 (ND~0.1009)
Borosilicate glass (54)	Storing container (15)	ND	ND	ND~0.0012 (1/15)
	Tea pot (13)	ND	ND	ND
	Medicine boiling pot (6)	ND	ND	ND
	Cup (7)	ND	ND	ND
	Bottle (7)	ND	ND	ND~0.0023 (2/7)
	Pot (6)	ND	ND	ND~0.0046 (4/6)
	Average	ND	ND	0.0002 (ND~0.0046)
Crystal glass (20)	Cup (14)	ND~0.7949 (2/14)	ND	0.0004~0.1823 (14/14)
	Bowl (6)	ND~0.4454 (1/6)	ND	0.0009~0.1178 (6/6)
	Average	0.0693 (ND~0.7949)	ND	0.0544 (0.0004~0.1823)
Total average amount		0.0139 (ND~0.7949)	ND	0.0131 (ND~0.1823)
Detection rate		0.05% (6/110)		49% (54/110)

¹⁾ND is not detected or a value below the LOQ (Pb: 0.0069 mg/L, Cd: 0.0018 mg/L, Ba: 0.0003 mg/L).

Table 5. Results of the estimated daily intake (EDI) calculations and risk assessments for a single estimate of exposure

	CF _m ¹⁾	f _T ²⁾	<M> ³⁾ (mg/L)	M ⁴⁾ (mg/kg)	EDI (μg/kg bw/day)	% Risk ⁵⁾
Pb	0.185	1	0.014	0.003	0.066	1.87
Ba	0.185	1	0.013	0.002	0.062	0.31

¹⁾CF_m (consumption factor): fraction of the daily diet expected to come into contact with specific material *m*.

²⁾f_T: food-type distribution factor.

³⁾<M>: migration concentration from the food contact material, $\sum f_T \times C_s$.

⁴⁾M (dietary concentration of substance) = <M> × CF_m.

⁵⁾Risk calculated with EDI divided by PTWI (25 μg/kg bw/week for Pb (JECFA, 2011); 20 μg/kg bw/day for Ba (EC, 2012)).

Table 6. Results of the estimated daily intakes (EDIs) and risk assessments at different groups

	Group	EDI (μg/kg bw/day)			% Risk		
		P ₅	Mean	P ₉₅	P ₅	Mean	P ₉₅
Pb	Total	0.014	0.066	0.192	0.39	1.87	5.40
	Men	0.016	0.077	0.240	0.45	2.16	6.74
	Women	0.012	0.056	0.136	0.36	1.57	3.82
	1-2	0.031	0.095	0.185	0.88	2.66	5.19
	3-5	0.031	0.084	0.161	0.88	2.37	4.51
	6-11	0.023	0.065	0.121	0.67	1.82	3.41
	12-18	0.013	0.043	0.088	0.36	1.20	2.48
	19-29	0.010	0.066	0.227	0.30	1.86	6.37
	30-49	0.016	0.079	0.264	0.46	2.22	7.39
	50-64	0.015	0.067	0.183	0.44	1.88	5.13
≥ 65	0.011	0.044	0.100	0.32	1.25	2.81	
Ba	Total	0.013	0.062	0.180	0.06	0.31	0.90
	Men	0.015	0.072	0.225	0.07	0.36	1.12
	Women	0.012	0.052	0.127	0.06	0.26	0.63
	1-2	0.029	0.089	0.173	0.14	0.44	0.86
	3-5	0.029	0.079	0.150	0.14	0.39	0.75
	6-11	0.022	0.060	0.113	0.11	0.30	0.56
	12-18	0.012	0.040	0.083	0.06	0.20	0.41
	19-29	0.010	0.062	0.212	0.05	0.31	1.06
	30-49	0.015	0.074	0.247	0.07	0.37	1.23
	50-64	0.014	0.062	0.171	0.07	0.31	0.85
≥ 65	0.010	0.041	0.093	0.05	0.20	0.46	

개 제품 중 54개에서 검출되었으며, 특히 크리스탈 유리제의 경우 20개 모든 제품에서 바륨이 검출되었다. 검출량은 평균 0.0544 mg/L로 최대 검출량은 0.1823 mg/L이었다. 2018년 김 등²⁷⁾의 연구결과와 비교해 볼 때 소다석회 유리제보다 크리스탈 유리제에서의 바륨 검출률 및 이행량이 비교적 높은 것은 동일하지만 최대 이행량이 1.06 mg/L인 것에 비해 현저히 낮은 수준임을 확인하였고, 국내에는 규격이 없으나 네덜란드 용출기준 1 mg/kg을 적용할 때도 적합한 수준임을 확인하였다. 이는 제품의 개체별, 제조사, 제조시기 등에 따른 차이인 것으로 추정되며 검출률은 높은 편이나 검출량은 우려할 만한 수준이 아님을 확인하였다

3. 안전성 평가 결과

안전성평가는 본 연구를 통한 이행량 조사 결과를 바탕으로 일일추정섭취량을 구하고 인체안전기준 자료 대비 위해도(%)를 산출하여 납 및 바륨의 위해도를 계산하였다. 일일 평균 식품섭취량과 체중은 각각 1.55 kg/person과 60.6 kg/person을 사용하였고, 인체안전기준은 JECFA의 납 잠정주간섭취허용량 25 μg/kg bw/week과¹²⁾ EC의 바륨의 일일섭취한계량 20 μg/kg bw/day¹⁴⁾을 사용하였다. JECFA는 2010년 납의 주간섭취허용량을 용량반응관계 등의 평가에서 근거부족으로 철회했지만, 노출 평가에 적절한 인체 안전 기준이 없기 때문에 본 연구에선 철회된 주간섭취허용

량 값을 사용하였다. 유리제 기구 및 용기·포장으로부터 이 행되는 납과 바륨의 EDI($\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$)는 각각 0.066과 0.062로 인체안전기준 자료와 비교했을 때 위해도(%)는 각각 허용섭취량의 약 1.87% 및 0.31%로 유리제 중 납과 바륨은 매우 안전한 수준으로 판단된다(Table 5). 또한 Table 6과 같이 노출수준 상위 95%(P_{95})와 하위 95%(P_5)의 위해도를 산출한 결과, 상위 95% 집단의 납의 위해도는 PTWI의 5.40%, 바륨의 위해도는 TDI의 0.90% 수준으로 매우 낮은 수준임을 확인하였다.

검토된 안전성 평가 항목들은 인체안전기준 자료 대비 위해도가 매우 낮아 국민 생활 건강에 위해를 끼치지 않는 안전한 수준인 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 국내 유통 되는 식품용 유리제 총 110개 제품을 대상으로 유리제에서 식품으로 이행될 우려가 있는 납, 카드뮴 및 바륨에 대하여 이행량을 조사하고 안전성 평가를 실시하였다. 납, 카드뮴 및 바륨은 ICP-OES로 측정되었고, 시험법은 직선성, 검출한계, 정량한계, 회수율, 정밀도 및 측정불확도 추정에 의해 검증되었다. 납과 바륨의 이행량은 각각 불검출 $\sim 0.7949 \text{ mg/L}$ 및 불검출 $\sim 0.1823 \text{ mg/L}$ 이었으며, 카드뮴은 모든 시료에서 검출되지 않았다. 식이를 통한 이행물질의 일일추정섭취량 및 위해도를 확인한 결과 국내 유통되는 식품용 유리제는 안전하게 관리되고 있음을 확인하였다.

감사의 말씀

본 연구는 2020년도 식품의약품안전처 연구개발사업의 연구비지원(20161위생안017)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Yanş A, Ceyhun-Sezgin A. 2017. Food Packaging: Glass and Plastic.
2. 식품의약품안전처. 2021. 2020 식품 등의 생산실적 통계집.
3. Spinosa, E. D., D. T. Hooie, R. B. Bennett. 1979. Summary Report on Emissions from the Glass Manufacturing Industry. Vol. 1. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, [Office of Energy, Minerals, and Industry], Industrial Environmental Research Laboratory.
4. Bauccio M, Bauccio ML. 1994. ASM engineering materials reference book: CRC Press.
5. Pfaender HG. 2012. Schott guide to glass: Springer Science & Business Media.
6. FEVE. 2020. Latest Glass Packaging recycling rate steady at 76. http://feve.org/glass_recycling_stats_2018.
7. Geueke B, Groh K, Muncke J. 2018. Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. J Clean Prod. 193:491-505.
8. Ross CP. 2011. HEAVY METAL ISSUES- IN AND OUT OF GLASS. Ceramic Engineering and Science Proceedings.
9. EU, Council Directive of 15 October 1984 on the approximation of the laws of the member states relating to ceramic articles intended to come into contact with foodstuffs (84/500/EEC).
10. Cho, K. C. et al., 2020. Monitoring of heavy metals migrated from glassware, ceramics, enamelware, and earthenware. J. Food Hyg. Saf. Vol. 35, No 1, 23-30.
11. International Agency for Research on Cancer (IARC). 2012. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol 100C, pp 121-145.
12. <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/Home/Chemical/3511>.
13. The Joint FAO/WHO Expert Committee Report on Food Additives (JECFA). 2013. Evaluation of certain food additives and contaminants, Seventy-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.
14. Scientific Committee on Health and Environmental Risk (SCHER). 2012. Assessment of the tolerable daily intake of barium.
15. Monika M, Tomasz S, Malgorzata R, Jacek P. 2018. Exposure assessment to lead, cadmium, zinc and copper released from ceramic and glass wares intended to come into contact with food. Rocznik Panstw Zakl Hig. 69(4):405-411. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/pl/deed.en>.
16. Choi, J. C. et al., 2014. A study on migration of heavy metals from utensils including glassware, ceramics, enamel, earthenware and plastics. J. Food Hyg. Saf. Vol. 29, No 4, 334-339.
17. European Food Safety Authority (EFSA). 2009. Guidelines for performance criteria and validation procedures of analytical methods used in controls of food contact materials. EUR24105EN-1st edition.
18. International Organization for Standardization (ISO). 1995. Guide to the Expression of uncertainty in measurement. Geneva, Switzerland.
19. Ellison S.L.R., Roesslein M.I., Williams A. 2000. Quantifying uncertainty in analytical measurement, EURACHEM, London UK. 32-94.
20. 식품의약품안전처 (MFDS). 2021. 식품용 기구 및 용기·포장의 기준 및 규격. https://www.mfds.go.kr/eng/brd/m_15/view.do?seq=72435&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1.
21. 이형신. 2017. 식품용 기구 및 용기·포장 이행물질 안전성평가 모델 연구. 한국보건산업진흥원. 식품의약품안전처 연구개발과제 보고서.
22. 질병관리청. 2016 국민건강통계 I, 국민건강영양조사 제7기 1차년도 (Korea health Statistics 2017 : Korea National Health and Nutrition Examination Survey(KNHA VII-1). <https://www.knhanes.cdc.go.kr/knhanes/eng/index.do>.
23. Hwang JB, Lee SB, Lee JE, Choi JC, Park SJ, Kang YS.

2020. LC-MS/MS analysis of BADGE, NOGEs, and their derivatives migrated from food and beverage metal cans. *Food Addit Contam. Part A.* 37(11):1974-1984. Doi:10.1080/19440049.2020.1791974.
24. Park SJ, Choi JC, Park SR, Choi HJ, Kim MK, Kim JK. 2018. Migration of lead and arsenic from food contact paper into a food simulant and assessment of their consumer exposure safety. *Food Addit Contam Part A.* 35(12):2493-2501. Doi:10.1080/19440049.2018.1547426.
25. Stefanka B., Barbara R. Catherine S. 2009. Guidelines for performance criteria and validation procedures of analytical methods used in controls of food contact materials, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24105 EN -1st.
26. Graziano JH, Blum C. 1991. Lead exposure from lead crystal. *The Lancet.* 337(8734):141-142.
27. 김미경 외. 2018. 기구 및 용기포장 중 이행물질 안전성 평가 연구. 식품의약품안전처 연구보고서(14161MFDS015).

투고: 2022.03.07 / 심사완료: 2022.03.15 / 게재확정: 2022.03.23