pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 36, No. 3, pp. 264~270 (2021)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2021.36.3.264

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

홈베이킹 조리기구에서 용출되는 유해금속 실태조사

박성희* · 김명길 · 손미희 · 서미영 · 장미경 · 구은정 · 채선영 · 박용배
경기도보건환경연구원 식품의약품연구부 첨가물분석팀

Monitoring of Hazardous Metals Migrated from Home-Cooking Utensils

Sung-Hee Park*, Myung-Gil Kim, Mi-Hui Son, Mi-Young Seo, Mi-Kyung Jang, Eun-Jung Ku, Sun-Young Chae, Yong-Bae Park
Food Additives Analysis Team, Food and Drug Research Division, Gyeonggi Province Institute of Health and Environment, Suwon, Korea

(Received March 8, 2021/Revised May 14, 2021/Accepted May 14, 2021)

ABSTRACT - In this study we investigated the elution level of lead (Pb), cadmium (Cd), arsenic (As), zinc (Zn), nickel (Ni), antimony (Sb), germanium (Ge), aluminum (Al) and hexavalent chromium (Cr^{6+}) from 69 home-cooking utensils into a food stimulants. The results of migration testing according to the Korea standards and specifications for utensils, containers and packages showed values the allowable migrantion limits. Al was detected in all 7 utensil materials with the average concentration ranging from 0.002-5.989 mg/L. According to the migration conditions for (180°C, 30 min), the average concentration of Al in paper was 7.2 times higher than 25°C, 10 min (P<0.05). The results of migration testing at 180°C, 30 min were also below the allowable migrantion limits. When comparing with the provisional tolerable weekly intake (PTWI) of Al, the estimated weekly intakes (EWI) accounted for 0.000-0.045% for Al.

Key words: Home-cooking, Hazardous metals, Migration test, Risk assessment

최근 집에서 보내는 시간이 늘어남에 따라 홈베이킹에 대한 관심이 증가하면서, 다양한 홈베이킹 재료 및 조리기구가 유통되고 그 수요가 증가하고 있다. 홈베이킹 조리기구의 재질은 금속제, 합성수지제, 고무제, 종이제 등 매우 다양하며, 크게 반죽, 베이킹, 포장 등으로 그 용도를 구분할 수 있다. 베이킹에 쓰이는 조리기구는 고온에서 식품과 오랜 시간 접촉하기 때문에 조리기구의 제조과정에서 사용되는 성분들이 식품으로 이행될 수 있으며, 이렇게 이행된 성분들은 식품의 품질을 저하시킬 수도 있고, 장기간에 걸쳐 많은 양을 섭취할 경우 안전성을 위협할 수도 있다[1]. 그래서 각국의 규제기관은 위해 가능성이 높은 중금속 등의 경우 기준 및 규격을 선정하여 관리하고 있으며, 국내에서는 재질별로 납, 비소, 카드뮴, 니켈, 아연, 안티몬, 게르마늄 및 6가크롬에 대한 기준 및 규격을 설정하여 관리하고 있다[2].

국제암연구소(International agency for research on cancer group, IARC)에서는 동식물 등에 미치는 유해정도 및 인체발암유발 가능성에 따라 Group 1(인체 발암성 물질)부터 Group 4(인체 비발암성추정물질)까지 5개 그룹으로 분류하여 관리하고 있다. 카드뮴, 비소, 니켈 및 6가크롬을 인체 발암성이 확인된 Group 1, 무기 납을 인체 발암 추정 물질인 Group 2A, 안티몬을 인체 발암 가능 물질인 Group 2B로 분류하고 있다[3].

납은 가공성과 색조성을 위해 첨가제로 사용되는데, 중독 시 인체의 거의 모든 조직에 영향을 미치고 축적되면 배출이 어렵다[4]. 증상은 두통, 복통, 구토, 빈혈, 경련, 혼수, 만성신장염, 중추신경계장애 등이 있다. 비소와 비소화합물들은 재질의 보존 및 항균목적으로 사용되며, 강한 독성을 가지고 있을 뿐 아니라 일부는 발암물질로 알려져 있다. 비소로 오염된 물이나 식품을 장기간 섭취 시 방광암, 피부암, 간암, 신장암, 폐암 등에 걸릴 수 있다. 카드뮴은 간장, 신장, 고환 및 폐를 포함한 여러 기관에 손상을 일으키는 환경오염물질이다. 카드뮴 중독은 설사, 복통,

*Correspondence to: Sung-Hee Park, Food Additives Analysis Team, Food and Drug Research Division, Gyeonggi province Institute of Health and Environment, Suwon 16381, Korea
Tel: +82-31-250-2577, Fax: +82-31-250-2537
E-mail: babo107@gg.go.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution,and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

구토 및 생식기능저해, 불임, 간장 및 신장장애, 중추신경계와 면역계손상, 정신질환, 고혈압, 암 발병 등을 유발하고, 이타이이타이병의 원인이 된다. 니켈은 알레르기 피부반응을 유발하는 흔한 원인이다. 특히 한포증 환자에게 민감한 것으로 알려져 있다[5]. 아연은 고무제의 첨가제로 사용되며, 정상적인 용량에서는 생체에서 면역기능 증진을 비롯한 많은 생리작용에 필수요소로 작용하지만 과량 노출시 흰쥐의 성장을 지연시키고, 혈중 철의 농도를 저하시키고, 혈중 카드뮴의 제거를 억제하며, 성인의 면역반응을 저하시킨다. 염화아연은 소화기계의 자극을 유발시키는 부식제이다[6]. 안티몬은 PET제의 축합반응의 촉매제로 사용되며, 비필수 미량원소로 비교적 독성이 강한 것으로 알려져 있다. 소량의 안티몬은 식물성장에 도움을 줄 수 있지만, 호흡을 통한 인체 노출시 기침, 폐염, 위장소화장애, 생식기능쇠퇴 및 신경계통의 질병을 유발할 수 있고, 만성중독의 증상은 비소와 유사하며, 심근위축과 발암작용도 있다[7]. 게르마늄은 무기게르마늄(GeO_2)과 유기게르마늄(Ge-132)로 분류하며, 유기게르마늄은 항종양효과, 항돌연변이효과, 면역강화효과, 항염증효과 등 다양한 생리활성작용을 일으키는 것에 반해, 무기게르마늄을 장기 복용한 환자에서 빈혈, 신장기능 장해, 신경병증, 근육장애를 유발하는 것으로 알려져 있다[8]. 6가크롬은 대표적인 발암물질로 알려져 있으며, 인체에 노출되면 피부염, 비중격천공 및 폐암을 일으키고, 세포내 유전독성을 유발한다고 알려져 있다[9]. 기준 및 규격의 유해금속 이외, 금속제의 한 재질인 알루미늄은 지각을 구성하는 대표적인 물질로 알루미늄과 알루미늄 화합물의 과다 노출 시 뇌신경계 손상, 심혈관계 이상 등이 발생되나 소량의 알루미늄 노출은 인체에 유해한 효과를 야기하지 않는 것으로 알려져 있다[10].

본 연구에서는 유통되고 있는 홈베이킹 조리기구 69건을 수거하여 식품용 기구 및 용기·포장 공전에서 제시되고 있는 재질별 용출규격(납, 비소, 카드뮴, 니켈, 아연, 안티몬, 게르마늄, 6가크롬)에 적합한지 살펴보고, 홈베이킹에 사용되는 일반적인 조리온도인 180°C, 30분 온도변화에 따른 유해금속 용출량 변화를 확인하였다. 규격기준이 설정되지 않은 알루미늄은 기구 및 용기 ·포장의 이행물질 노출 시나리오를 활용하여 잠정주간섭취허용량(provisional tolerable weekly intake, PTWI)의 기준과의 비교를 통해 위해도를 산출하고 안전성을 평가하고자 하였다[11].

Materials and Methods

재료

2020년 경기도 내 대형매장과 베이킹 전문매장 등에서 유통되는 홈베이킹 조리기구 중 베이킹에 사용되는 조리기구 69건을 수거하였다. 재질별로 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)제 6건, 불소수지(FR)제 10건, 가공셀룰로스제 1건, 고무제 12건, 종이제 17건, 금속제 13건, 유리제 10건이었다.

표준용액 및 시약

유해금속 분석용 표준품은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)사의 Instrument calibration Standard 2, Germanium Plasma Emission Standard 및 Sodium Chromate를 사용하였고, 시약으로 Sigma-Aldrich사의 1.5-diphenylcarbazide, citric acid monohydrate, acetic acid와 Wako (Tokyo, Japan)사의 nitric acid을 사용하였다. 물은 Lab Tower EDI 30 (Thermo Fisher Scientific, Niederelbert, Germany)로 제조한 3차 증류수를 사용하였다.

표준용액, 시액 및 시험용액 조제

ICP-OES 분석용 표준용액 조제 시, 구연산은 수산화나트륨 시액으로 pH를 3.5로 조정한 0.5% 구연산용액에, 초산은 4% 초산으로 희석한 용액에, 질산은 0.5 N 질산으로 희석한 용액에 납, 카드뮴, 비소, 아연, 니켈, 안티몬, 게르마늄, 알루미늄 표준품을 0.02-1.0 mg/L의 농도로 사용하였다. 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, 디페닐카바지드 시액은 1.5-diphenylcarbazide 0.25 g을 아세톤 50 mL에 녹인 액을 사용하였다.

수거한 시료는 '식품용 기구 및 용기·포장 공전 IV. 기구 및 용기·포장 시험법 2-6 재질별 용출시험용액의 조제에 따라 시험용액을 조제하였고[2], 추가로 실시한 용출시험을 포함하여 용출조건은 Table 1과 같다. 액체를 채울 수 있는 경우에는 시료 면을 따라 5 mm 아래까지 가득 채우고 액체를 채울 수 없는 경우에는 식품과 접촉하는 표면적 1 cm^2당 2 mL의 비율로 침출용액을 접촉시켜 시험용액으로 하였다.

분석조건

분석은 '식품용 기구 및 용기·포장 공전 IV. 기구 및 용기·포장 시험법을 따라 2-1 납 시험법, 2-2 카드뮴 시험법, 2-4 6가크롬 시험법, 2-9 비소 시험법, 2-10 안티몬 시험법, 2-24 게르마늄 시험법, 2-50 아연 시험법, 2-54 니켈 시험법에 따라 시험하였다. 알루미늄은 2-1 납 시험법에 따라 시험하였다[2]. 알루미늄은 2-1 납 시험법에 따라 시험하였다.

납, 카드뮴, 비소, 아연, 니켈, 안티몬, 게르마늄, 알루미늄은 ICP- OES (Optima 8300, PerkinElmer, Waltham, MA, USA)를, 6가크롬은 Spectrophotometer (Lambda-25, PerkinElmer)(파장, 540 nm)를 이용하여 분석하였으며, ICP-OES 기기분석조건은 Table 2에 요약하였다.

Table 1. Test procedures of migration test solution for each materials

Materials	Migration test solution	Temperature and time
Polyethylenerterephthalate (PET)	4% Acetic acid	100°C, 30 min / 180°C, 30 min
Fluorocarbon resin (FR)	4% Acetic acid	100°C, 30 min / 180°C, 30 min
Regenerated cellulose (RC)	4% Acetic acid	100°C, 30 min / 180°C, 30 min
Rubber	4% Acetic acid	100°C, 30 min / 180°C, 30 min
Paper	4% Acetic acid	25°C, 10 min / 180°C, 30 min
Metal	Water	100°C, 30 min / 180°C, 30 min
Glass	4% Acetic acid	25°C, 24 h / 180°C, 30 min

Table 2. The operating parameters of ICP-OES

Parameter		Condition
RF Power(W)		1500
Gas flow (L/min)	Plasma	12
	Auxiliary	0.2
	Nebulizer	0.5
Analytical wavelength (nm)	Pb	220.353
	Cd	228.802
	As	193.696
	Zn	206.200
	Ni	231.604
	Sb	206.836
	Ge	265.118
	Al	396.153

검출한계 및 정량한계

직선성을 확인하기 위하여 표준용액을 농도별로 분석기기에 주입하여 얻어진 분석결과로부터 검량선을 작성하였으며, 각각 상관계수(R^2) 값을 통하여 직선성을 확인하였다. 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of quantification, LOQ)는 Thompson 등[12]의 방법으로 구하였다.

알루미늄 위해도 평가

알루미늄의 노출량 산출을 위해, 식품섭취량은 질병관리청에서 발간한 '2018년도 국민건강영양조사'[13] 자료를 활용하였다. 통계프로그램 SPSS ver 18.0 (SPSS Inc., New York, NY, USA)을 사용하여 7차 식품코드에 따라 식품섭취량을 산출하였으며, 평균체중은 60 kg을 적용하였다. 알루미늄 노출량 평가는 국제식량농업기구/세계보건기구 합동 식품첨가물 전문가 위원회(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additves)에서 설정한 잠정주간섭취허용량(PTWI)인 2 mg/kg b.w/week를 이용하여 추정주간식이섭취량(estimated weekly intake, EWI)과 PTWI를 비교하여 위해도를 산출하고 안전성을 평가하였다[8,11].

통계처리

식품용 기구 및 용기·포장 공전의 재질별 용출실험조제를 따른 용출실험과 180°C, 30분 용출실험의 비교분석을 위해 SPSS ver 18.0 (SPSS Inc.)을 이용하였고, 통계적 유의성 검증으로 *Paired* t-test를 이용하였으며, 시료간의 유의차는 $P<0.05$ 수준에서 검정하였다.

Results and Dicussion

분석법 검증

검량선 측정을 위해 납, 카드뮴, 비소, 아연, 니켈, 안티몬, 게르마늄, 알루미늄은 0.02, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 mg/L 농도로 사용하였으며, 6가크롬은 0.02, 0.2, 0.5 mg/L 농도로 사용하였다. 검량선 상관계수(R^2) 값은 0.9995 이상의 직선성을 보여주었으며, 각 침출용액별 LOD, LOQ값은 Table 3과 같다.

Table 3. LOD, LOQ and R^2 of hazardous metals

Migration test solution	Item (μg/L)	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Sb	Ge	Al	Cr^{6+}
4% Acetic acid	LOD	8.5	0.7	11.6	3.5	1.7	2.4	7.5	1.1	4.2
	LOQ	25.7	2.2	35.2	10.5	5.1	7.4	22.7	3.3	12.8
	R^2	1.0000	0.9999	0.9998	1.0000	1.0000	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000
0.5 N Nitric acid	LOD	1.6	2.6	14.2	2.3	1.0	6.7	5.8	18.3	4.3
	LOQ	4.0	7.9	43.1	7.0	3.2	20.4	17.6	55.5	13.0
	R^2	0.9999	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000	0.9999

Table 4. Results of elution test for home-cooking utensils according to standard and specification for utensils, containers and packages

Materials	No. of Sample	Migration condition	Mean (mg/L)	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Sb	Ge	Al	Cr^{6+}
PET	6	100°C 30 m	Average	N.D.*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.002±0.002 (2)**	N.D.
			Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.006	N.D.
Fluorocarbon resin	10	100°C 30 m	Average	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.001 (1)	0.002 (1)	N.D.	0.198±0.260 (10)	N.D.
			Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.005	N.D.-0.020	N.D.	N.D.-0.867	N.D.
Regenerated cellulose	1	100°C 30 m	Average	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.989 (1)	N.D.
			Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.989	N.D.
Rubber	12	100°C 30 m	Average	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.061±0.258 (11)	N.D.
			Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.566	N.D.
Paper	17	25°C 10 m	Average	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.198±0.166 (15)	N.D.
			Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.610	N.D.
Metal	13	100°C 30 m	Average	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.002±0.002 (4)	N.D.	N.D.	0.133±0.116 (6)	N.D.
			Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.009	N.D.	N.D.	N.D.-0.3892	N.D.
Glass	10	25°C 24 h	Average	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.001 (1)	N.D.	N.D.	0.002±0.001 (5)	N.D.
			Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.006	N.D.	N.D.	N.D.-0.007	N.D.

* N.D.: Not Detected (less than LOQ).
** Number in brackets are the number of samples detected positively.

식품용 기구 및 용기·포장 공전에 따른 용출량 조사

69건의 홈베이킹 조리기구의 용출량 규격 기준 조사결과 모두 기준 이내로 적합하였다. 금속제에서 니켈이 최대 0.009 mg/L로 낮은 검출을 보였고, 이외 유해금속은 모두 불검출의 결과를 보였다(Table 4).

규격 기준 이외, FR제 1건에서 니켈과 안티몬이 각각 0.005 mg/L, 0.002 mg/L 검출되었고, 유리제 1건에서 니켈이 0.006 mg/L 검출되었다.

알루미늄 검사결과 모든 재질에서 검출됨을 확인하였다. 알루미늄 평균값은 가공셀룰로스제(5.989 mg/L), 종이제(0.198 mg/L), FR제(0.198 mg/L), 금속제(0.133 mg/L), 고무제(0.061 mg/L), 유리제(0.002 mg/L) 및 PET제(0.002 mg/L) 순으로 나타났다. 금속제는 알루미늄 재질 위주로 검출되었는데, 알루미늄 조리기구를 사용 시 알루미늄이 용출되는 기존의 결과와 일치하지만 규격 기준이 없어 안전성 평가가 불가능하였다[14]. FR제는 원재료가 금속제 위주로 알루미늄이 검출되었다. Kim 등[15]이 코팅한 금속제 주방기구에서 알루미늄의 평균용출량이 높게 나타나고 이를 금속 원재료에서의 기인으로 추정하였는데, 이 결과와 유사함을 알 수 있다. 종이제 및 가공셀룰로스제의 경우 2건을 제외하고 모두 알루미늄이 검출되었다. 종이류의 염색 단계에서 알루미늄이 매염제의 한 종류로 쓰이는 것이 보고된다[16]. 종이제 및 가공셀룰로스제의 경우 매염제로 쓰인 알루미늄이 용출과정 중 검출된 것으로 추정된다. 종이류의 알루미늄 용출평균값이 금속제보다 높게 검출되었는데, 이는 알루미늄이 산성용액인 4% 초산에 잘 용출되는 특성이 있어 금속제의 용출용액인 물보다 더 잘 용출된 것으로 추정된다[14].

베이킹 조리조건에 따른 용출량 조사

홈베이킹 주 조리조건 온도인 180°C, 30분으로 용출했을 때의 결과는 Table 5과 같다. 종이제 1건에서 납이 0.198 mg/L, 금속제에서 니켈이 최대 0.035 mg/L의 검출을 보였으며, 모두 용출규격 기준 이내로 적합한 수준이었다.

규격 기준 이외, FR제 1건에서 니켈, 안티몬, 게르마늄이 각각 0.042 mg/L, 0.019 mg/L, 0.027 mg/L 검출되었고, 다른 1건에서 니켈이 0.007 mg/L 검출되었다. 고무제 1건에서 안티몬이 0.024 mg/L 검출되었고, 금속제 1건에서 아연이 0.010 mg/L 검출되었다. 종이제 2건에서 6가크롬이 각각 0.057, 0.067 mg/L 검출되었고, 가공셀룰로스제 1건

Table 5. Results of elution test for home-cooking utensils at 180°C for 30 min

Materials	No. of Sample	Mean (mg/L)	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Sb	Ge	Al	Cr^{6+}
PET	6	Average	N.D.*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.001 (1)**	N.D.
		Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.006	N.D.
Fluorocarbon resin	10	Average	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.005±0.017 (2)	0 (1)	0 (1)	0.305±0.710 (10)	N.D.
		Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.042	N.D.-0.019	N.D.-0.027	N.D.-2.425	N.D.
Regenerated cellulose	1	Average	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.069 (1)	0 (1)
		Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5	N.D.-0.015
Rubber	12	Average	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0 (1)	N.D.	0.075±0.215 (10)	N.D.
		Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.024	N.D.	N.D.-0.731	N.D.
Paper	17	Average	0.012 (1)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.417±1.999 (15)	0.007±0.005 (2)
		Range	N.D.-0.198	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-7.046	N.D.-0.068
Metal	13	Average	N.D.	N.D.	N.D.	0.001 (1)	0.004±0.012 (3)	N.D.	N.D.	0.931±2.893 (8)	N.D.
		Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.010	N.D.-0.035	N.D.	N.D.	N.D.-9.146	N.D.
Glass	10	Average	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.007±0.006 (7)	N.D.
		Range	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.-0.021	N.D.

* N.D.: Not Detected (less than LOQ).
** Number in brackets are the number of samples detected positively.

에서 6가크롬이 0.015 mg/L 검출되었다. 종이류의 6가크롬 검출은 종이류에 염색된 색이 용출되어 흡광도검사 시 반응한 것으로 추정된다.

알루미늄은 7개의 모든 재질에서 검출되었고, 평균값은 가공셀룰로스제(5.069 mg/L), 종이제(1.417 mg/L), 금속제(0.931 mg/L), FR제(0.305 mg/L), 고무제(0.075 mg/L), 유리제(0.007 mg/L) 및 PET제(0.001 mg/L) 순으로 검출되었다. 기구 및 용기·포장공전에 따른 용출실험과 베이킹 조리조건에 따른 용출실험의 알루미늄 용출결과를 비교해 보면, 종이제를 제외한 모든 재질에서 유의성이 나타나지 않았다(P>0.05). 종이제의 경우, 식품용 기구 및 용기·포장 공전의 용출조건인 25°C 10분보다 180°C 30분의 평균값이 7.2배 유의하게 증가하였다(P<0.05). 알루미늄 호일 제품에서 식품유사용매로의 알루미늄의 이행량을 실험한 결과 온도와 시간이 증가할수록 알루미늄의 함량이 증가한 것[17]과 유사한 결과를 보였다.

알루미늄 위해도 평가

알루미늄의 추정주간식이섭취량(EWI)은 식이 중 이행물질농도와 사람이 하루에 섭취하는 식이의 무게의 곱에 7일을 곱하여 계산하였다[18]. 2018년도 국민건강영양조사의 국민 다소비 식품 중 빵의 1일 섭취량은 67.7 g이었고, 성인의 평균체중은 60 kg을 기준으로 하였다. 한국보건산업진흥원 보고서에서 인용한 소비계수(consumption factor, CF)와 식품유형분배계수(food type distribution factor, f_T)는 Table 6에 기술하였다[19]. 식품용 기구 및 용기·포장공전의 용출실험과 180°C 30분 용출실험의 알루미늄 평균값의 EWI를 조사하였고, WHO/JECFA에서 제안한 알루미늄의 잠정주간섭취허용량(PTWI) 2 mg/kg b.w/week와 대비하여 위해도(%)를 평가하였다.

180°C 30분과, 식품용 기구 및 용기·포장공전 조건의 알루미늄 %PTWI는 종이제 0.045%, 0.006%, 금속제 0.013%, 0.002%, FR제 0.002%, 0.001%, 고무제 및 유리제 0.001%, 0.000%, PET제 및 가공셀룰로스제 0.000%, 0.000%로 순으로 나타났다. 용출 평균값이 가장 높은 가공셀룰로스제는 CF가 낮아 위해도 평가 결과가 낮게 나타났다(Table 6). An 등[10]의 결과에서 보면, 쌀 등 12품목에 대한 알루미늄 위해도 평가는 0.00~0.57%, 12품목을 모두 섭취하였을 경우 3.65% 수준으로 농산물섭취에 의한 알루미늄 위해가능성이 낮은 것으로 평가하였다. 이외, 국민 다소비

Table 6. Estimated exposure for Aluminum in home-cooking utensils

Material	Migration condition	Al Mean (mg/L)	CF	f_T	EWI (μg/kg b.w/week)	%PTWI*
PET	100°C, 30 min	0.002	0.065	1	0.001	0.000
	180°C, 30 min	0.001	0.065	1	0.001	0.000
Fluorocarbon resin	100°C, 30 min	0.198	0.013	1	0.020	0.001
	180°C, 30 min	0.305	0.013	1	0.031	0.002
Regenerated cellulose	100°C, 30 min	5.989	0.000	1	0.002	0.000
	180°C, 30 min	5.069	0.000	1	0.002	0.000
Rubber	100°C, 30 min	0.061	0.019	1	0.009	0.000
	180°C, 30 min	0.075	0.019	1	0.011	0.001
Paper	25°C, 10 min	0.198	0.080	1	0.125	0.006
	180°C, 30 min	1.417	0.080	1	0.895	0.045
Metal	100°C, 30 min	0.133	0.034	1	0.036	0.002
	180°C, 30 min	0.931	0.034	1	0.250	0.013
Glass	25°C, 24 hour	0.002	0.185	1	0.003	0.000
	180°C, 30 min	0.007	0.185	1	0.010	0.001

*Al PTWI: 2 mg/kg b.w/week.

식품인 소고기, 돼지고기, 감자, 고구마를 대상으로 알루미늄 조리기구를 이용하여 조리 후 식품 중 알루미늄 노출량에 따른 위해도 평가 역시 0.35~0.70%로 낮아 안전한 수준으로 평가하였다[11]. 홈베이킹 조리기구의 알루미늄의 전체 위해도 역시 0.000-0.045% 수준으로 국민생활 건강에 위해를 끼치지 않는 안전한 수준으로 확인되었다.

국문요약

2020년 경기도내 대형매장과 베이킹 전문매장 등에서 유통 중인 홈베이킹 조리기구 69건(폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)제, 불소수지(FR)제, 가공셀룰로스제, 고무제, 종이제, 금속제, 유리제)을 대상으로 유해금속 9종(납, 카드뮴, 비소, 아연, 니켈, 안티몬, 게르마늄, 6가크롬, 알루미늄)의 용출량 및 알루미늄의 식품으로의 이행량을 조사하여 홈베이킹 조리기구의 안전관리를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 홈베이킹에서 사용되는 69건의 조리기구는 식품용 기구 및 용기·포장 공전의 용출규격 기준에 모두 적합하였다. 금속제의 니켈이 최대 0.009 mg/L 검출되었으나 기준에 적합하였고 이외 유해금속은 불검출이었다. 규격 기준 이외의 금속에서 주로 용출된 유해금속은 알루미늄으로 7개의 재질에서 모두 용출되었으며, 4% 초산으로 용출된 종이제(1.417 mg/L)와 가공셀룰로스제(5.069 mg/L)에서 높은 용출량을 보였다. 홈베이킹에서 주로 사용되는 조리조건인 180°C, 30분 용출실험 결과, 식품용 기구 및 용기·포장 공전에 따른 용출실험 대비, 종이제의 알루미늄의 용출량이 7.2배 유의하게 증가하였다(P<0.05). 이외 납 등 다른 유해금속이 추가로 검출되었다. 180°C, 30분으로 용출온도가 증가하여도 식품용 기구 및 용기·포장 공전의 용출규격 기준에는 모두 적합하였다. 알루미늄의 위해도 평가결과, 종이제 > 금속제 > FR제 > 고무제 및 유리제 > PET제 및 가공셀룰로스제 순으로 나타났으며, 전체 위해도는 0.000-0.045% 수준으로 국민생활 건강에 위해를 끼치지 않는 안전한 수준으로 확인되었다. 홈베이킹 조리기구의 용출량 조사결과, 유해금속은 안전하게 관리되고 있는 것을 확인하였고, 본 연구의 결과는 향후 식품용 기구 및 용기·포장의 안전관리를 위한 과학적인 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Sung-Hee Park https://orcid.org/0000-0001-6251-1648
Myung-Gil Kim https://orcid.org/0000-0002-8607-5972
Mi-Hui Son https://orcid.org/0000-0002-3841-4861
Mi-Young Seo https://orcid.org/0000-0002-6772-8077
Mi-Kyung Jang https://orcid.org/0000-0002-3566-7791
Eun-Jung Ku https://orcid.org/0000-0002-7893-8811
Sun-Young Chae https://orcid.org/0000-0001-8062-9666
Yong-Bae Park https://orcid.org/0000-0002-7095-4614

References

1. Barnes, K.A., Sinclair, C.R., Watson, D.H., 2007. Chemical migration and food contact materials. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp. 1-5.
2. Ministry of Food and Drug Safety, (2021, May 25). Standards and specifications for food utensils, containers and packages (No. 2020-43). Retrieved from https://www.mfds.go.kr/eng/brd/m_15/view.do?seq=72433&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1
3. International Agency for Research on Cancer, (2021, May 25). Agents classified by the IARC monographs, Volume 1-125. Retrieved from https://dtsc.ca.gov/wp-content/uploads/sites/31/2019/05/1-J-IARC-carcin.pdf
4. Reilly, C., 2002. Metal Contamination of Food: Its Significance for Food Quality and Human Health, 3rd ed. Blackwell Science, Malden, MA, USA.
5. Lee, J.H., Kim, J.Y., Park, Y.S., Park, S.G., Lee, J.H., Yoon, J.H., Kim, G.T., Han, G.D., Influence of usage environment from camping cooking utensils on migration of hazardous metals. *Korean J. Food Preserv.*, **24**, 1094-1102 (2017).
6. Jekal, S.J., Lee, K.S., Chung, O.B., Im, H.B., Preventive effects of zinc pretreatment in the time-course of cadmium-induced testicular toxicity in the rat. *Korean J. Clin. Lab. Sci.*, **41**, 111-122 (2009).
7. Jeong, C.H., Case study of hydrochemical contamination by antimony waste disposal in Korea. *J. Eng. Geol.*, **18**, 471-482 (2008).
8. Kim, J.J., Choi, J.N., Cho, J.S., Heo J.S., Yee, S.T., Oral single-dose toxicity studies on germanium-fortified lettuce, in mouse. *Korean J. Environ. Agric.*, **28**, 59-68 (2009).
9. Yoon, U.S., Kim, K.J., Chromium in Erythrocytes as a biological marker of worker exposed to hexavalent chromium. *J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg.*, **10**, 223-234 (2000).
10. An, J.M., Hong, K.S., Kim, S.Y., Kim, J.H., Yu, K.E., Kim, H.Y., Park, H.D., Lee, J.H., Kim, D.H., Risk assessment aluminum levels of circulating agricultural products in Korea. *Korean J. Environ. Agric.* **34**, 336-344 (2015).
11. Cho, S.J., Son, Y.J., Kim, M.S., Kim, E.H., Lee, H.K., Kim, D.G., Lee, S.D., Oh, Y.H., Jung, K., Aluminum exposure assessment of foods cooked using aluminum containers. *Report of S.I.H.E.*, **53**, 3-9 (2017).
12. Thompson, M., Ellison, S.L.R., Wood, R., Harmonized guideline for single- laboratory validation of methods of analysis (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.*, **74**, 835-855 (2002).
13. Korea National Health and Nutrition Examination Survey, (2021, June 14). Database. Retrieved from https://knhanes.kdca.go.kr/knhanes/sub03/sub03_02_05.do
14. Demont, M., Boutakhrit, K., Fekete, V., Bolle, F., Van Loco, J., Migration of 18 trace elements from ceramic food contact material: Influence of pigment, pH, nature of acid and temperature. *Food Chem. Toxicol*., **50**, 734–743 (2012).
15. Kim, J.K., Im, K.S., Kim, M.G., Park, S.H., Seo, M.Y., Lee, Y.N., Kim, J.S., Ku, E.J., Chae, S.Y., Park, Y.B., Yoon, M.H., Evaluation of elution characteristics by material for kitchen utensils - focusing on the metallic kitchen utensils. *J. Food Hyg. Saf.*, **36**, 51-59 (2021).
16. Jee, J.Y., Wi, K.C., Study on aging characteristics depending on the utilized mordants of dyed restoration paper for paper conservation. *J. Conserv. Sci.*, **29**, 47-54 (2013).
17. Takeda, Y., Kawamura, Y., Yamada, T., Dissolution of aluminium from aluminium foil products in food-simulating solvents. *Food Hyg. Saf. Sci.*, **39**, 178-183 (1998).
18. Cho, K.C., Jo, Y.E., Park, S.Y., Park, Y.C., Park, S.J., Lee, H.Y., Monitoring of heavy metals migrated from glassware, ceramics, enamelware, and earthenware. *J. Food Hyg. Saf.*, **35**, 23-30 (2020).
19. Korea Health Industry Development Institute, 2017. Safety evaluation model for migrant from utensils and food packaging materials. Cheongju, Korea. pp. 85-105.