pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 41, No. 3, pp. 205~213 (2026)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2026.41.3.205

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

경남지역 유통 제로음료 중 인공감미료 함량 및 위해성 평가

최연주* · 이유진 · 허윤정 · 김민지 · 박정길 · 김미숙
경상남도 보건환경연구원 식품분석팀

Content and Risk Assessment of Artificial Sweeteners in Zero-sugar Beverages Distributed in Gyeongsangnam-do

Yeonju Choi*, Yujin Lee, Yunjung Huh, Minji Kim, Jeonggil Park, Misuk Kim
Food Analysis team, Gyeongsangnam-do Institute of Health and Environment, Jinju, Korea

(Received February 13, 2026/Revised June 1, 2026/Accepted June 3, 2026)

ABSTRACT - In this study, the presence of four artificial sweeteners was investigated in zero-sugar beverages marketed in Gyeongsangnam-do, Korea, and their potential health risks were evaluated. A total of 150 samples were collected and quantitatively analyzed using UPLC-PDA. All samples contained artificial sweeteners, and only sweeteners listed on the ingredient labels were detected, with levels remaining below the allowable limits. Sucralose had the highest detection rate (99.3%), followed by acesulfame potassium (82.0%), whereas saccharin sodium and aspartame were rarely detected. Aspartame and sucralose tended to be present at higher concentrations. Most beverage categories showed similar overall concentration ranges, except for fruit and vegetable juices. Multiple sweeteners were observed in 81.3% of the samples, with a combination of acesulfame potassium and sucralose being the most common. The estimated daily intake (EDI) values for all sweeteners corresponded to 2.71% of the acceptable daily intake, indicating a low level of health risk. Because the EDI was calculated using total beverage consumption rather than zero-sugar beverages alone, the actual risk was projected to be significantly lower. However, the absence of a maximum permitted level for aspartame in beverages, absence of an official analytical method for sucralose, and frequent combined use of sweeteners underscore the need for further safety evaluation, establishment of analytical methods, and assessment of potential interactions between sweeteners. Considering the expanding zero-sugar beverage market, continued monitoring of artificial sweetener use and safety is required.

Key words: Artificial sweeteners, Zero-sugar beverages, Risk assessment, Gyeongsangnam-do

감미료는 식품에 단맛을 부여하는 첨가물로, 제조 방식에 따라 천연 및 인공감미료로 분류된다[1,2]. 이 중 인공감미료는 설탕 대비 수십에서 수백 배의 감미도를 가지면서도 열량이 거의 없어 당뇨, 고혈압 등 대사성 질환 예방을 위한 식이요법이나 체중 조절용 식품에 폭넓게 활용되고 있다[3].

최근 건강에 대한 소비자의 관심이 높아짐에 따라 '제로 슈거(Zero-Sugar)' 음료 시장이 급격히 성장하고 있으며[4,5], 국내 음료 섭취량 또한 최근 5년간 약 20% 증가하는 등 감미료 노출 기회가 과거에 비해 현저히 증가하였다[6].

인공감미료의 안전성에 대해서는 지속적인 논란이 제기되어 왔다[7-13]. 특히 2023년 아스파탐이 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에 의해 발암 가능 물질(Group 2B)로 분류되면서 소비자 불안감이 확산되었으나[14], FAO/WHO 합동 식품첨가물 전문가위원회(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)등 국제기구는 기존의 일일섭취허용량(acceptable daily intake, ADI) 기준이 안전하다는 입장을 유지하고 있다[15].

또한, 최근 음료 제조 트렌드는 단독 감미료 사용 시 발생하는 쓴맛이나 이취를 보완하고 감미의 상승효과를 도모하기 위해 2종 이상의 감미료를 혼합하여 사용하고 있

*Correspondence to: Yeonju Choi, Food Analysis team, Gyeongsangnam-do Institute of Health and Environment, Jinju 52732, Korea
Tel: +82-55-254-2174, Fax: +82-55-254-2279
E-mail: yeonju5388@korea.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.

다[16]. 이러한 병용 사용은 성분 간 상호작용 및 복합 노출에 따른 새로운 안전성 검토의 필요성을 시사한다.

현재 국내에서 빈번하게 사용되는 아세설팜칼륨, 사카린나트륨, 아스파탐, 수크랄로스 등은 식품별 기준에 따라 관리되고 있다[1,17]. 그러나 아스파탐의 경우 음료류에 대한 세부 기준이 미비하고, 수크랄로스는 공인시험법이 부재하여 현장 검증에 어려움이 있는 등 제도적 보완 사항이 존재한다. 특히 급격히 변화하는 제로 음료 시장의 특수성을 반영한 심층 연구는 여전히 부족하며[18], 전국 단위 조사의 신뢰성을 확보하기 위해서는 지역별 유통망 특성을 고려한 세밀한 모니터링이 선행되어야 한다.

경남 지역은 도농 복합 지역을 포함한 광역 유통망을 형성하고 있어, 해당 지역 유통 제품에 대한 실태 조사는 국내 제로 음료 소비의 전형적인 노출 시나리오를 제시하는 기초 자료로서 중요한 가치를 지닌다.

이에 경남 지역에서 유통되는 제로 음료 150건을 대상으로 주요 인공감미료 4종의 사용 실태 및 검출 현황을 정밀 분석하였다. 나아가 국민건강영양조사의 최신 자료[19,20]를 바탕으로 일반 인구 집단뿐만 아니라 고섭취군(95th, 99th percentile)에 대한 세분화된 위해성 평가를 수행하여, 극단적 노출 상황에서의 안전성을 확인하였다. 본 연구는 이러한 분석을 토대로 변화하는 감미료 사용 트렌드에 대응하기 위한 합리적인 식품 안전관리 정책 수립을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

Materials and Methods

실험재료

2025년 경상남도 지역 내 마트에서 유통·판매되고 있는 제로음료 총 150건을 분석 대상으로 하였다.

시약 및 표준품

인공감미료 표준품으로는 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)사의 acesulfame potassium, aspartame, saccharin sodium, sucralose를 사용하였다. methanol, ethanol, acetonitrile, chloroform, PNBC (4-nitrobenzoyl chloride)는 Sigma-Aldrich 제품을 사용하였으며, 10% TPA-OH는 Fujifilm (Osaka, Japan), hexane과 인산은 Junsei (Tokyo, Japan), pyridine, ethyl acetate는 대정화금(한국) 제품을 사용하였다. 정제수는 초순수제조장치 Milli-Q integral 5 (Millipore, Burlington, MA, USA)로 정제하여 사용하였다.

시험용액의 조제

인공감미료 3종(acesulfame potassium, saccharin sodium, aspartame) 분석을 위한 시험용액은 식품공전(8.3.2.2.)의 아세설팜칼륨(acesulfame K), 사카린나트륨 및 아스파탐 동시분석법에 준하여 조제하였다[17].

시험용액은 시료 5 g에 정제수를 가하여 50 mL로 정용한 후 0.45 μm 멤브레인 필터로 여과하여 사용하였다. 탄산가스를 함유한 시료는 10분간 초음파 처리하여 탄산가스를 제거한 후 시료를 취하였다.

수크랄로스의 경우 식품공전 내 공인 시험법이 확립되어 있지 않아, 식품의약품안전처 Ministry of Food and Drug Safety (MFDS)[21] 검증법을 바탕으로 하되, 분석 효율을 높이기 위해 분석 조건을 일부 수정하여 유효성을 확인하였다.

시료 1 g에 30% 에탄올 약 30 mL를 가해 10분간 진탕하여 추출한 후, 전량을 50 mL로 정용하고, 이를 4,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상층액을 filter paper로 여과한 뒤, 여액 1 mL를 취해 질소농축하였다. 질소로 농축된 잔류물에 10% PNBC/피리딘 용액 2 mL를 첨가하여 재용해시킨 후, 50°C에서 60분간 항온 반응을 진행하였다. 반응 종료 및 미반응 시약 제거를 위해 메탄올 1 mL을 가한 후 다시 질소 농축하였으며, 이후 클로로포름 5 mL로 재용해하였다. 이 용액을 헥산 10 mL 및 10% 에틸아세테이트/헥산 용액 10 mL를 순차로 가하여 활성화시킨 silica cartridge에 통과시킨 후 25 mL 에틸아세테이트 용액으로 용출하였다. 용출액은 감압하에서 완전히 증발 건고한 후 아세토니트릴 5 mL를 가하여 용해하고, 0.45 μm 멤브레인 필터로 여과하여 시험용액으로 하였다.

기기분석 조건

인공감미료의 분석은 photo diode array (PDA) 검출기

Table 1. UPLC analytical conditions for acesulfame K, sodium saccharin and aspartame

Conditions	
Instrument	UPLC I-Class
Column	Capcell pak MF-C_{18} (4.6×250 mm, 5 μm)
Detector	PDA
Wavelength	210 nm
Injection vol.	10 μL
Flow rate	1.0 mL/min
Mobile phase	10% TPA-OH in 20% methanol (pH 4.0)

Table 2. UPLC analytical conditions for sucralose

Conditions	
Instrument	UPLC I-Class
Column	Unison UK-Phenyl (4.6×250 mm, 3 μm)
Detector	PDA
Wavelength	260 nm
Injection vol.	10 μL
Flow rate	1.0 mL/min
Mobile phase	63% acetonitrile

가 장착된 Unison UK-Phenyl 컬럼(IMTAKT, Japan)을 사용하여 photo diode array (PDA) 검출기가 장착된 ultra-performance liquid chromatography (UPLC, Waters Co. Ltd., Milford, MA, USA)로 분석하였다. 상세 분석 조건은 Table 1, 2와 같다.

유효성 검증

본 연구에서 수행한 시험법의 유효성은 「식품·의약품 분야 시험·검사기관 품질관리를 위한 시험방법의 유효성 확인 및 검증 안내서」[22] 및 「식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인」[23]에 따라 직선성(linearity), 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of quantification, LOQ), 정확도(accuracy) 및 정밀도(precision) 항목에 대하여 검증하였다.

직선성 확인을 위하여 3종 감미료는 0.6-10 mg/L 및 6-100 mg/L, 수크랄로스는 0.1-2 mg/L 범위에서 5단계 이상의 혼합 표준용액을 조제하였다. 각 표준용액을 2회 이상 분석하여 검량선을 작성하였으며, 회귀선의 결정계수(coefficient of determination, R^2)을 통해 직선성을 평가하였다.

정확도와 정밀도 확인을 위하여 인공감미료가 검출되지 않은 각 시료에 3종 감미료는 10-100 mg/kg, 수크랄로스는 50-250 mg/kg의 농도가 되도록 저, 중, 고 3단계의 농도로 첨가하여 평가하였다. 정확도는 회수율(%)로 산출하였으며, 정밀도는 5회 이상 반복 측정 결과의 변동계수(coefficient of variation, CV, %)로 확인하였다.

LOD와 LOQ는 저농도 표준용액을 7회 반복 분석하여 표준편차와 검량선의 기울기를 이용하여 아래 식에 따라 산출하였다.

$$LOD=3.3\times\sigma/S$$
$$LOQ=10\times\sigma/S$$

σ: The standard deviation of the response
S: The slope of the calibration curve

인공감미료의 위해성 평가

일일추정섭취량(estimated daily intake, EDI)은 본 연구에서 수거한 경남 지역 유통·판매 음료류가 소비되었다는 가정하에 산출하였다.

각 인공감미료의 안전성을 평가하기 위한 기준으로 일일섭취허용량(ADI)는 JECFA에서 권장하는 각 인공감미료별 ADI (아세설팜칼륨 0-15 mg/kg bw/day, 사카린나트륨 0-5 mg/kg bw/day, 아스파탐 0-40 mg/kg bw/day, 수크랄로스 0-5 mg/kg bw/day)를 기준으로 설정하였다[24].

Results and Discussion

시험법의 유효성 검증 결과

본 시험법의 정확도를 평가하기 위해 수행한 직선성, LOD, LOQ 결과는 Table 3와 같다. 인공감미료의 검량선에서 결정계수(R^2)는 0.99 이상의 우수한 직선성을 보였다. LOD는 0.21-4.45 mg/kg, LOQ는 0.69-14.82 mg/kg 범위로 산출되었으며, 이는 기존 연구와 비교하여 유사하거나 더

Table 3. Linearity, LOD, LOQ of artificial sweeteners

Analytes	Linearity (R^2)	LOD[1] (mg/kg)	LOQ[2] (mg/kg)
Acesulfame K	0.9999	0.59	1.96
Sodium saccharin	0.9999	0.21	0.69
Aspartame	0.9996	1.03	3.42
Sucralose	0.9983	4.45	14.82

[1]LOD: Limit of detection.
[2]LOQ: Limit of quantitation.

Table 4. Recovery of artificial sweeteners by beverage type

Artificial sweeteners	Recovery (mean±S.D.[1], %)			
	Carbonated drink	Mixed drink	Liquid tea	Average
Acesulfame K	95.43±2.91	92.83±2.89	97.65±2.56	95.30±2.41
Sodium saccharin	93.44±1.89	88.68±3.07	99.97±0.92	94.03±5.97
Aspartame	100.36±2.75	103.61±0.87	99.67±1.83	101.23±2.10
Sucralose	92.48±4.18	98.57±3.64	96.32±5.79	95.79±3.08
Average	95.43±3.04	95.92±5.66	98.40±1.50	

[1]S.D.: Standard deviation.

낮은 수준으로 확인되었다[21].

회수율 실험 결과는 Table 4과 같다. 인공감미료별 평균 회수율은 94.03-101.23%, 음료유형별 평균 회수율은 95.43-98.40%로 나타났다. 이는 식품첨가물의 회수율 검증 기준(80-110%)을 모두 만족하는 수준이다. 또한 정밀도 분석 결과(Table 5) 인공감미료별 평균 정밀도는 0.95-1.57%, 음료별 평균 정밀도는 1.21-1.33%로 나타나, 정밀도 검증 기준(16%) 이내로 본 분석법의 감도가 정확함을 확인하였다[22].

인공감미료 검출 현황

경남 지역에서 수거한 제로 음료 150건의 분석 결과, 수거된 모든 시료에서 1종 이상의 인공감미료가 검출되었으며(Table 6), 모든 제품이 현행 식품별 기준을 준수하고 있는 것으로 확인되었다. 또한 검출된 감미료의 종류는 각 제품의 원재료명 표기사항과 모두 일치하였다.

인공감미료별로는 수크랄로스가 전체 시료의 99.3%에서 검출되어 가장 높은 빈도를 나타냈으며, 아세설팜칼륨이 82.0%로 그 뒤를 이었다. 이는 국내 유통음료를 대상으로 한 선행연구들 Kim 등[25], Lee 등[26]과 경북보건환경연구원[27]에서도 수크랄로스와 아세설팜칼륨이 가장 빈번하게 사용된다고 보고된 결과와 일치하는 경향이다.

음료 유형별로는 탄산음료, 혼합음료, 액상차에서 수크랄로스가 100% 검출률을 보였으며, 아세설팜칼륨 역시 탄산음료(89.5%)를 포함한 대부분의 유형에서 높은 비율로 검출되었다. 특히 커피 음료에서도 두 감미료의 검출률은 87.5%로 나타났으며, 과채음료(1건)에서도 두 감미료가 모두 검출되어, 수크랄로스와 아세설팜칼륨이 대부분의 음료 유형에서 사용되고 있음을 보여준다.

반면, 사카린나트륨과 아스파탐은 탄산음료에서 일부 검출되었을 뿐, 그 외 음료 유형에서는 모두 검출되지 않아 사용 빈도가 낮은 것으로 확인되었다. 이러한 검출 패턴은 감미료 고유의 이화학적 특성 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 수크랄로스와 아세설팜칼륨은 용해성이 좋고 열 및 pH 변화에 안정하여 다양한 식품 분야에서 적용이 가능하다. 반면 아스파탐은 pH 안정성과 열안정성이 비교적 낮아 사용에 제약이 있으며, 사카린나트륨은 과거의 안전성 논란 등으로 인해 제로음료 시장 내 선호도가 낮아진 것으로 판단된다[2,28]. 이러한 특성 차이로 인해 수크랄로스와 아세설팜칼륨의 사용 빈도가 높고, 아스파탐과 사카린나트륨은 상대적으로 낮은 것으로 판단된다.

인공감미료 함량 분석

인공감미료 함량을 분석한 결과는 Table 7에 제시하였다. 본 결과는 검출된 값만을 대상으로 산출하였으며, 검출되지 않은 값을 포함할 경우 평균 및 위해도가 실제보다 낮게 산정될 가능성이 있어 이를 분석에서 제외하였다. 검출된 감미료별 평균 농도는 아세설팜칼륨 74.06 mg/kg, 사카린나트륨 9.55 mg/kg, 아스파탐 186.77 mg/kg, 수크랄로스 139.38 mg/kg으로 나타났으며, 이 중 아스파탐과 수크랄로스의 평균 농도가 상대적으로 높았다. 특히 아스파탐의 평균 농도가 가장 높게 나타났는데, 이는 선행연구에서도 동일하게 보고된 바 있으며 사용 기준이 설정되어 있지 않아 비교적 고농도로 사용된 것으로 추정된다[22-27].

감미료별 최대 농도는 아세설팜칼륨 299.43 mg/kg, 사

Table 5. Precision of artificial sweeteners by beverage type

Artificial sweeteners	Precision (CV, %)			
	Carbonated drink	Mixed drink	Liquid tea	Average
Acesulfame K	1.05	1.19	0.98	1.08
Sodium saccharin	1.00	0.98	0.89	0.95
Aspartame	1.38	1.52	1.82	1.57
Sucralose	1.42	1.64	1.23	1.43
Average	1.21	1.33	1.23	

Table 6. Distribution of detected artificial sweeteners by beverage type

Beverage types	Acesulfame K	Sodium saccharin	Aspartame	Sucralose
Carbonated drink (n=86)	77	6	4	86
Mixed drink (n=39)	27	N.D.[1)]	N.D.	39
Liquid tea (n=16)	11	N.D.	N.D.	16
Coffee (n=8)	7	N.D.	N.D.	7
Fruit juice (n=1)	1	N.D.	N.D.	1
Total (n=150)	123	6	4	149

[1)]N.D.: Not detected.

Table 7. Concentration of detected artificial sweeteners by beverage type

Artificial sweeteners / Beverage types	Concentration (mg/kg)				
	Acesulfame K	Sodium saccharin	Aspartame	Sucralose	Total
Carbonated drink	7.47-299.43 (73.48)[1)]	9.03-10.46 (9.55)	92.91-221.16 (186.77)	23.18-287.95 (145.78)	7.47-299.43 (109.82)
Mixed drink	9.17-136.01 (65.78)	N.D.[2)]	N.D.	15.8-259.75 (136.16)	9.17-259.75 (107.37)
Liquid tea	16.65-132.19 (77.77)	N.D.	N.D.	67.13-203.35 (120.09)	16.65-203.35 (102.85)
Coffee	33.84-173.73 (111.81)	N.D.	N.D.	57.73-241.88 (126.12)	33.84-241.88 (118.96)
Fruit juice	36.91	N.D.	N.D.	115.03	36.91-115.03 (75.97)
Total	7.47-299.43 (74.06)	9.03-10.46 (9.55)	92.91-221.16 (186.77)	15.80-287.95 (139.38)	7.47-299.43 (108.80)

[1)]Average.
[2)]N.D.: Not detected.

Table 8. Combined detection patterns and concentrations of artificial sweetener by beverage type

Beverage type	Combination sweetener	No. of sample	Concentration range (mg/kg)	Average concentration (mg/kg)
Carbonated drink	sucralose	9	89.3-179.50	133.14
	acesulfame K+sucralose	67	97.93-421.94	217.80
	acesulfame K+sucralose+sodium saccharin/aspartame	10	218.11-411.56	320.87
Mixed drink	sucralose	12	48.88-248.50	135.49
	acesulfame K+sucralose	27	112.50-358.48	202.24
Liquid tea	sucralose	5	125.65-203.35	164.74
	acesulfame K+sucralose	11	100.42-270.61	177.57
Coffee	acesulfame K/sucralose	2	157.28-241.88	199.58
	acesulfame K+sucralose	6	110.51-263.58	211.06
Fruit juice	acesulfame K+sucralose	1	151.93	151.93

카린나트륨 10.46 mg/kg, 아스파탐 221.16 mg/kg, 수크랄로스 287.95 mg/kg으로 확인되었다. 이는 식품첨가물공전의 사용기준(아세설팜칼륨 500 mg/kg, 사카린나트륨 200 mg/kg, 수크랄로스 400 mg/kg)과 비교하였을 때 모두 사용기준에 적합한 것으로 나타났다.

음료 유형별 평균 농도는 시료 수가 적은 과채음료(75.97 mg/kg)를 제외한 탄산음료(109.82 mg/kg), 혼합음료(107.37 mg/kg), 액상차(102.85 mg/kg), 커피(118.96mg/kg) 에서 전반적으로 비슷한 수준을 보였다. 탄산음료에서는 아스파탐의 평균 농도(186.77 mg/kg)가 가장 높았으며, 혼합음료·액상차·커피·과채음료에서는 수크랄로스가 각각 136.16, 120.09, 126.12, 115.03 mg/kg으로 가장 높은 비중을 차지하였다.

인공감미료 병용 검출 현황

분석 대상 시료 150건의 인공감미료 병용 검출 현황은 Table 8에 제시하였다. 전체 시료의 81.3%(122건)에서 2종 이상의 감미료가 병용 검출되어 제로음료 시장의 인공감미료 혼합 사용 트렌드를 확인할 수 있었다. 단일 성분 검출은 28건(수크랄로스가 27건이고 아세설팜칼륨이 1건)에 불과하였다. 병용 검출 사례 중 2종 병용은 112건으로 모두 아세설팜칼륨과 수크랄로스 조합이었으며, 3종 병용 10건은 해당 두 성분을 기반으로 아스파탐 또는 사카린나트륨이 추가된 형태였다.

인공감미료는 단독 사용 보다 병용 시 감미 상승효과 및 단점을 상호보완하는 특성이 있으며, 상승 효과가 확인된 조합은 동일한 감미 수준을 더 적은 양으로 구현할 수 있다[25)]. 본 연구와 선행연구들에서 아세설팜칼륨과 수

크랄로스 조합이 가장 높은 빈도로 확인된 것은 수크랄로스의 후미에서 단맛이 지속되는 특성과 아세설팜칼륨의 부족한 단맛의 균형이 상호보완하여 단맛이 강화되기 때문으로 판단된다. 특히 보고에 따르면 두 성분을 60:40 비율로 혼합했을 때 단맛의 강도, 감미질, 기호도가 극대화되는 것으로 알려져 있다[25].

이처럼 단맛 구현이 중요한 제로음료에서는 인공감미료의 병용 사용이 일반화되어 있으므로, 이에 따른 감미료 간 상호작용, 잠재적 특성 및 장기적 노출 평가에 대한 안전성 검토가 필요한 것으로 판단된다.

위해성 평가

검출된 인공감미료의 위해성은 ADI 대비 총 EDI의 백분율로 산출하여 평가하였다. 섭취군별 평균 음료 섭취량은 Table 9에 제시하였다. 성별로는 남성이 여성보다 섭취량이 높았고, 연령대별로는 19-49세에서 높은 섭취량이 확인되었다.

각 인공감미료의 총 EDI는 Table 10과 같으며, 계산식은 다음과 같다.

Total EDI (mg/person/day)
=음료섭취량(g/person/day)
×인공감미료 평균 함량(mg/kg)÷1000

각 인공감미료의 총 EDI 산출 결과, 아스파탐(46.45 mg/day)과 수크랄로스(34.66 mg/day)의 섭취량이 다른 감미료 대비 높게 나타났다. 이는 두 감미료의 평균 함량이 상대적으로 높았던 데에서 기인한 것으로 보인다.

이어서 그룹별 평균 체중을 적용하여 세분화한 ADI (Table 11)를 기준으로 최종 위해도를 산출하였다(Table 12). 상위 섭취군의 경우 체중 정보가 제공되지 않아 평균 체중을 대체값으로 적용하여 위해도를 산정하였다.

위해성 평가 결과 인공감미료별 위해도는 전체 섭취군에서 아스파탐이 4.95%로 가장 높은 비율을 보였고, 수크랄로스(3.69%), 아세설팜칼륨(1.96%), 사카린나트륨(0.25%) 순이었다. 모든 연령군에서 감미료의 ADI 대비 EDI 비율이 8% 미만이었다.

성별 위해도는 남성이 여성보다 높게 나타났으며, 연령별로는 19-49세에서 최대 7.42%로 가장 높은 수준을 보였다. 이는 해당 집단의 상대적으로 높은 음료 섭취량에 따른 결과로 판단된다. 고섭취군에서는 일반군 대비 4-6배

Table 9. Average daily intake of beverages by population group

		Daily intake (g/person/day)
Total	All	248.7
Gender	Male	278.0
	Female	219.4
Age	1-2	64.8
	3-5	89.9
	6-11	135.5
	12-18	229.2
	19-29	373.1
	30-49	372.4
	50-64	212.2
	65 or older	78.0
High intake group	95 percentile	965.3
	99 percentile	1,584.6

Table 10. Total EDI of artificial sweeteners by consumption groups

		Estimated daily intake (mg/person/day)			
		Acesulfame K	Sodium saccharin	Aspartame	Sucralose
Total	All	18.42	2.37	46.45	34.66
Gender	Male	20.59	2.65	51.92	38.75
	Female	16.25	2.09	40.97	30.57
Age	1-2	4.80	0.62	12.10	9.03
	3-5	6.66	0.86	16.79	12.53
	6-11	10.03	1.29	25.30	18.88
	12-18	16.97	2.19	42.80	31.94
	19-29	27.63	3.56	69.68	52.00
	30-49	27.58	3.56	69.56	51.91
	50-64	15.72	2.03	39.64	29.58
	65 or older	5.78	0.75	14.57	10.87
High intake group	95 percentile	71.49	9.22	180.30	134.55
	99 percentile	117.35	15.13	295.95	220.85

Table 11. ADI of artificial sweeteners by population group

		Artificial sweeteners			
		Acesulfame K	Sodium saccharin	Aspartame	Sucralose
ADI[1] (mg/person/day)		0-15	0-5	0-40	0-5
Total	All	939[2]	313	2,504	313
Gender	Male	1,038	346	2,768	346
	Female	839	280	2,236	280
Age	1-2	186	62	496	62
	3-5	281	94	748	94
	6-11	513	171	1,368	171
	12-18	893	298	2,380	298
	19-29	1,019	340	2,716	340
	30-49	1,043	348	2,780	348
	50-64	980	327	2,612	327
	65 or older	909	303	2,424	303
High intake group		939	313	2,504	313

[1]ADI values are established by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA).
[2]Daily ADI per person was calculated by multiplying ADI (mg/kg bw/ day) by the average body weight (kg) of each group: 62.6 (All), 69.2 (Male), 55.9 (Female), 12.4 (1-2y), 18.7 (3-5y), 34.2 (6-11y), 59.5 (12-18y), 67.9 (19-29y), 69.5 (30-49y), 65.3 (50-64y) and 60.6 (65+y).

Table 12. Exposure assessment of artificial sweeteners by beverage type

		Total EDI/ADI (%)			
		Acesulfame K	Sodium saccharin	Aspartame	Sucralose
Total	All	1.96	0.25	4.95	3.69
Gender	Male	2.19	0.28	5.53	4.13
	Female	1.73	0.22	4.36	3.26
Age	1-2	0.51	0.07	1.29	0.96
	3-5	0.71	0.09	1.79	1.33
	6-11	1.07	0.14	2.69	2.01
	12-18	1.81	0.23	4.56	3.40
	19-29	2.94	0.38	7.42	5.54
	30-49	2.94	0.38	7.41	5.53
	50-64	1.67	0.22	4.22	3.15
	65 or older	0.62	0.08	1.55	1.16
High intake group	95 percentile	7.61	0.98	19.20	14.33
	99 percentile	12.50	1.61	31.52	23.52

높았으나, 99th percentile에서도 아스파탐 31.52%, 수크랄로스 23.52%, 아세설팜칼륨 12.50%, 사카린나트륨 1.61%로 모두 위해도가 32% 미만이었다. 이를 바탕으로 본 연구에서 산출된 최대 위해도가 31.52% 수준으로, 제로음료 섭취를 통한 인공감미료 노출이 안전한 수준임을 시사한다.

본 연구는 제로음료에 한정하지 않고 전체 음료 섭취량을 기반으로 하여 보수적인 노출 시나리오를 적용하였다. 따라서 실제 제로 음료 기반 노출량은 본 연구 결과보다 낮을 가능성이 있다.

다만, 인공감미료는 단일보다 병용 사용이 많아 향후 병용 사용에 대한 기준 설정, ADI 재평가, 지속적인 안전성 관리가 필요하다.

또한 2026년부터 무당·무가당 제품의 감미료 함유 여부 및 열량 표시가 의무화되지만, 함량 정보는 제공되지 않아 실제 섭취량을 추정하는 데 한계가 존재한다. 제로음료 외에도 다양한 식품군에서 인공감미료가 사용되고 있

는 점을 고려할 때, 총 노출량을 평가하기 위해서는 제품별 감미료 함량 표시가 요구된다.

음료류가 인공감미료 노출의 주요 기여 식품군으로 확인된 만큼, 제로 음료에 대한 사용 실태 및 안전성에 대한 지속적인 연구가 필요하다[21].

국문요약

본 연구는 경남지역에서 유통·판매되는 제로음료를 대상으로 인공감미료 4종의 사용 실태를 조사하고, 잠재적 위해성을 평가하였다. 총 150건의 시료를 수거하여 UPLC-PDA로 정량분석한 결과, 모든 시료에서 인공감미료가 검출되었으며, 원재료명 표시와 일치하는 감미료만이 사용기준 미만 수준으로 검출되었다. 감미료별 검출률은 수크랄로스(99.3%), 아세설팜칼륨(82.0%)이 높은 검출률을 나타냈으며, 특히 사카린나트륨과 아스파탐은 탄산음료에서만 일부 검출되었다. 전체 시료의 81.3%에서 감미료의 병용 사용이 확인되었으며, 특히 아세설팜칼륨과 수크랄로스 조합이 가장 빈번하게 나타났다. 함량 분석 결과, 아스파탐과 수크랄로스가 상대적으로 높은 농도로 검출되는 경향을 보였다. 위해도 평가 결과, ADI 대비 EDI는 2.71%의 수준으로 확인되어 제로음료 섭취로 인한 위해 가능성은 매우 낮을 것으로 평가되었다. 다만, 음료류에 대한 아스파탐의 세부 기준 마련 및 수크랄로스의 공인 시험법 등재 등 제도적 보완이 필요하며, 빈번한 병용 사용에 따른 복합 노출의 잠재적 영향에 대한 지속적인 모니터링과 추가 연구가 요구된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Yeonju Choi https://orcid.org/0009-0004-5411-0325
Yujin Lee https://orcid.org/0000-0001-5893-7005
Yunjung Huh https://orcid.org/0009-0003-1488-1662
Minji Kim https://orcid.org/0009-0001-3913-2022
Jeonggil Park https://orcid.org/0009-0001-9784-3009
Misuk Kim https://orcid.org/0009-0001-5279-4549

References

1. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, December 8). Korean Food Additives Code. Retrieved from https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FA.
2. Lee, H.K., Cho, S.J., Chang, M.S., Kim, J.Y., Cha, J.H., Lee, S.D., Oh, Y.H., Estimation of the presence of artificial sweeteners in liquors distributed in domestic market. *The Report of Seoul Institute of Health & Environment,* **54**, 10-16 (2018).
3. Cho, I.S., Cho, T.H., Lee, J.K., Lee, Y.J., Kim, S.J., Choi, H.J., Shin, K.Y., Oh, Y.H., Total sugar and artificial sweetener contents of health functional foods in Seoul. *J. Food Hyg. Saf.*, **32**, 314-320 (2017).
4. Kim, S.H., Seol, S.M., Gwon, D.H., Yeo, E.J., Kim, Y.S., Changes in the oral environment according to consumption of some zero-sugar carbonated beverages. *Korean J. Clin. Dent Hyg.*, **13**, 15-22 (2023).
5. Park, B.H., Kim, Y.G., Nam, J.H., Big data analysis on the perception of zero beverages, tourism promotion research. *J. Tour. Enhanc.,* **se6**, 115-134 (2024).
6. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). 2025. Beverage consumption among Korean adults: findings from National Health Statistics Plus 2019-2023, KDCA, Cheongju, pp. 1-8.
7. Suez, J., Korem, T., Zeevi, D., Zilberman-Schapira, G., Thaiss, C.A., Maza, O., Israeli, D., Zmora, N., Gilad, S., Weinberger, A., Kuperman, Y., Harmelin, A., Kolodkin-Gal, I., Shapiro, H., Halpern, Z., Segal, E., Elinav, E., Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota. *Nature*, **514**, 181-186 (2014).
8. Suez, J., Cohen, Y., Valdés-Mas, R., Mor, U., Dori-Bachash, M., Federici, S., Zmora, N., Leshem, A., Heinemann, M., Zur, M., Ben-Zeev Brik, R., Bukimer, A., Eliyahu-Miller, S., Metz, A., Fischbein, R., Sharov, O., Malitsky, S., Itkin, M., Stettner, N., Harmelin, A., Shapiro, H., Stein-Thoeringer, C.K., Segal, E., Elinav, E., Personalized microbiome-driven effects of non-nutritive sweeteners on human glucose tolerance. *Cell*. **185**, 3307-3328 (2022).
9. Harpaz, D., Yeo, L.P., Cecchini, F., Koon, T.H.P., Kushmaro, A., Tok, A.I.Y., Marks, R., Eltzov, E., Measuring artificial sweeteners toxicity using a bioluminescent bacterial panel. *Molecules*, **23**, 2454 (2018).
10. Shahriar, S., Ahsan, T., Khan, A., Akhte-ruzzaman, S., Shehreen, S., Sajib, A.A., Aspartame, acesulfame K and sucralose-influence on the metabolism of *Escherichia coli*. *Metabol. Open*, **8**, 100072 (2020).
11. Marchitti, S.A., Boon, D., Jack, M., Goodman, J.E., Lack of genotoxic and carcinogenic potential for non-sugar sweeteners: a review of animal and mechanistic evidence. *Adv. Nutr.*, **16**, 2193-2206 (2025).
12. World Health Organization (WHO)., 2022. Health effects of the use of non-sugar sweeteners: a systematic review and meta-analysis, WHO, Geneva, Switzerland, pp. 1-120.
13. Marinovich, M., Galli, C.L., Bosetti, C., Gallus, S., La Vecchia, C., Aspartame, low-calorie sweeteners and disease: regulatory safety and epidemiological issues. *Food Chem. Toxicol.*, **60**, 109-115 (2013).
14. International Agency for Research on Cancer (IARC), (2025, December 8). Aspartame hazard and risk assessment results released. Retrieved from https://www.iarc.who.int/news-events/aspartame-hazard-and-risk-assessment-results-released/.
15. International Agency for Research on Cancer (IARC). (2025, December 8). Aspartame hazard and risk assessment results

released. Retrieved from https://www.who.int/news/item/14-07-2023-aspartame-hazard-and-risk-assessment-results-released.
16. Du, T., He, G., Hou, X., Shi, P., Zhou, Z., Mao, J., Predicting sweetness intensity and uncovering quantitative interactions of mixed sweeteners: a machine learning approach. *Foods*, **15**, 167 (2026).
17. Ministry of Food and Drug Safety. (2025, December 8). Korean Food Code. Retrieved from https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC.
18. Jung, E.Y., A study on zero-calorie drinks: focusing on market analysis and academic research trends. *J. Korean Soc. Wellness*, **18**, 135-140 (2023).
19. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA), (2025, December 8). The amount of intake by food group (2023). Retrieved from https://knhanes.kdca.go.kr/knhanes/archive/wsiStatsClct.do
20. Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA), (2025, December 8). The national average weight (2023). Retrieved from https://knhanes.kdca.go.kr/knhanes/archive/wsiStatsClct.do
21. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2025. Dietary exposure assessment through foods containing sweeteners, MFDS, Cheongju, pp. 1-249.
22. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, December 8). Validation and verification guidelines for test methods for quality control of testing inspection agencies in the food and drug field. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=14813&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1.
23. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, December 8) Guidelines on standard procedures for establishing testing methods for food, etc. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=15646&srchFr=&srchTo=&srchWord=%EC%8B%9C%ED%97%98%EB%B2%95&srchTp=0&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&Data_stts_gubun=C9999&page=1.
24. International Agency for Research on Cancer (IARC), (2025, December 8). Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Retrieved from https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/.
25. Kim, S.D., Moon, H.K., Lee, J.H., Chang, M.S., Shin, Y., Jung, S.O., Yoon, E.S., Cho, H.B., Kim, J.H., Assessment of estimated daily intakes of artificial sweeteners in non alcoholic beverages consumed by children and adolescents. *Korean J. Food Nutr.*, **43**, 1304-1316 (2014).
26. Lee, S.B., Yong, K.C., Hwang, S.I., Kim, Y. J., Jung, Y.J., Seo, M.Y., Lee, C.H., Sung, J.H., Yoon, M.Y., A study on the analysis of five artificial sweeteners in beverages by HPLC/MS/MS. *J. Food Hyg. Saf.*, **29**, 327-333 (2014).
27. Gyeongbuk Institute of Health and Environment, Survey on artificial sweetener contents in frequently consumed beverages. *Bulletin of Gyeongbuk Institute of Health and Environment*, **37**, 233-239 (2024).
28. Han, T.C., Seo, I., Lim, H.J., Kih, M.J., Reducing sugar content in processed foods using high-intensity sweeteners. *Food Sci. Ind.*, **49**, 29-39 (2016).