

## MS-전자코를 사용한 페트(polyethylene terephthalate) 생수병과 뚜껑의 이취 이행 분석

한현정 · 박수원 · 정효연 · 김정선 · 동혜민 · 노봉수\*  
서울여자대학교 식품공학과

### Analysis of Off-flavor Generated from a Polyethylene Terephthalate Water Bottles and Caps by Using an Electronic Nose

Hyun Jung Han, Su Won Park, Hyo Yeon Jung, Jung Sun Kim, Hyemin Dong, and Bong Soo Noh\*  
Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University

**Abstract** The objective of the study was to investigate the off-flavor generated from PET water bottles and their caps by using a mass spectrometry-based electronic nose. The ion fragment data obtained from the electronic nose were used for discriminant function analysis (DFA). In the case of increased concentrations of the contamination of water, the off-flavor pattern depended on the discriminant function second score instead of the discriminant function first score. To identify the cause of off-flavor in polyethylene terephthalate (PET) bottled water, the PET bottle and its cap were analyzed by DFA. The results showed that the cap generated more volatile compounds than the bottle or mineral water did. The substances causing the off-flavor were predicted to be 2,4-di-*tert*-butylphenol (2,4-DTBP), nonanal, and decanal when the main peak of the mass spectrum was compared with the major ion fragments of the electronic nose. Thus, using this method, we could determine whether the PET water bottle was contaminated and whether the off-flavor resulted from contamination of the bottle cap.

**Keywords:** off-flavor water, PET water bottle, bottle cap, volatile component, electronic nose

## 서 론

먹는 물에서 발생하는 냄새는 경도, 탁도와 함께 소비자들의 불만을 일으키는 중요한 요인 중 하나이며, 이는 자신이 마시는 물에서 냄새가 난다는 사실이 이 물이 안전하지 못하다는 믿음으로 소비자들에게 인식된다(1). 이러한 이미(off-taste)와 이취(off-flavor) 같은 품질저하 문제는 식품 내용물의 안전도에 영향을 미치지 않더라도 소비자 기호에 크게 영향을 줄 수 있다. 따라서 기업체 입장에서는 고객신뢰 확보를 위해 문제가 발생하기 이전에 문제를 방지할 수 있는 예방법과 문제 발생시 신속하게 대응할 수 있는 대처법이 필요하다. 또한 생수는 역치가 낮은 식품으로 이러한 성분들이 낮은 농도로 이행되어도 이취를 발생시켜 생수의 관능학적 품질에 큰 영향을 줄 수 있다(2).

PET (polyethylene terephthalate)병은 음료에 폭넓게 사용되는데, 특히 생수병으로 사용된다(3). 이러한 생수용 페트병 성형 과정에서 고온조건에 노출되고 제품이 높은 온도에 장기간 보관될 시 페트의 잔류 또는 분해물질들이 식품으로 이행할 가능성이 증대된다고 보고되었으며(4) 생수용 페트병에서는 주로 알데하이드

(aldehyde)류가 물쪽으로 이행되는 것으로 알려져 있다(3).

Choi 등(5)은 안트라센(anthracene), 벤조페논(benzophenone), 다이메틸프탈레이트(dimethyl phthalate), 스테아르산메틸(methyl stearate), 펜토클로로페놀(pentachlorophenol) 등의 물질이 PE (polyethylene) 코팅된 종이와 paperboard를 통하여 물로 이행되는 것을 GC(gas chromatography)로 분석한 결과, 냉장온도와 상온에서 위의 물질들이 생수로 이행되는 것을 확인한 바 있다. 또한 Jung 등(2)은 생수, 용기 성형 전의 페트 프리폼(preform)과 성형 후의 페트 병, 그리고 생수 용기 뚜껑을 각각 전처리하여 GC/MS (gas chromatograph-mass spectrometer)와 HPLC (high performance liquid chromatography)로 분석하였고, 추가적으로 온도를 60, 80, 100°C로 설정하여 온도상승에 따른 비교 실험을 통해 페트 생수 병 내 휘발성 물질을 동정하고 이행량을 관찰하였다.

이와 같은 식품 원료와 포장재 사이의 상호작용에 관한 문제를 분석할 시에는 매우 적은 양에 의해서 문제가 야기될 가능성이 크므로 가능하다면 전처리 과정이 없는 분석법을 선택해야 원인을 보다 정확하게 관별할 수 있다. 페트 병과 뚜껑 그리고 생수 등 매트릭스가 각기 다른 시료의 분석에서는 전처리 과정이 서로 다를 수 있어 이로 인한 차이가 나타날 수 있다. 따라서 동일성분의 동정 및 이행여부를 매트릭스가 다른 페트병, 뚜껑 그리고 생수에 모두 적용되는 동일한 조건하에서 분석이 이루어지는 것이 바람직하다.

냄새 유발 물질을 분석하는 기존의 방법에는 closed-loop stripping analysis (6), purge and trap (7), SPME (solid-phase microextraction)를 이용한 GC/MS (8,9)법이 알려져 있다. 페트 병이나 뚜껑의 경우 이를 잘게 부수어 냉동 건조한 다음 분석을

\*Corresponding author: Bong Soo Noh, Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University, Seoul 01797, Korea  
Tel: 82-2-970-5636  
Fax: 82-2-970-5977  
E-mail: bsnoh@swu.ac.kr  
Received May 4, 2015; revised July 7, 2015;  
accepted July 7, 2015

실시하였는데 잘게 부수는 과정에서 휘발성분이 날아가거나 마찰열에 의해서 변질가능성이 있으며 또한 냉동건조과정에서 갑작스러이 의해 휘발성분의 손실이 발생할 수 있다.

전자코 분석은 시료의 전처리 과정이 필요 없는 신속하고 간편한 방법으로 시료성분의 미세한 변화까지도 감지할 수 있어 시료간의 품질변화 정도를 신속하게 예측할 수 있으며 GC, GC-MS와 달리 구체적인 성분으로 동정하지 않은 상태에서도 전체적인 패턴분석으로 판별이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 전자코 분석을 통해 원료인 생수와 포장 용기인 페트병과 뚜껑에서 야기되는 이취성분의 존재여부를 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 시료

본 실험에서 사용된 시판 생수 중 이취냄새가 나는 생수 시료 A는 이취 생수가 페트병에 채워진 상태로 A 회사에서 제공받아 사용하였으며 B, C는 서울시내 시중 마트에서 구입하였다. 제공받은 시료는 Table 1에 나타내었다.

### 전자코 분석

시료를 10 mL vial (La-Pha-Pack® GmbH, Langerwehe, Germany)에 넣고 PTFE/실리콘뚜껑(silicone cap) (Pharma-Fix, Chemmea, Slovakia)으로 밀봉하였다. 이후 90°C에서 10분간 350 rpm으로 교반한 뒤 Silox가 충전된 inside needle direct extraction syringe (Hamilton, Bonaduz, Switzerland)를 사용하여 10번 stroke하여 주사바늘 내부에서 농축한 후 200°C의 주입구 온도를 유지한 가운데 주입하였다. 헤드스페이스(headspace) 분석 시 syringe purge는 300초를 유지한 후 thermostatted tray holder에 놓은 후 2.5 mL를 취하였으며 headspace system을 이용하여 시료의 기체성분을 분석하였다. 시료의 분석은 자동시료채취기(CombiPAL, CTC analytics, Zwingen, Switzerland)와 질량분석기(Quadrupole Mass Spectrometer, Balzers Instruments, Masin-Epagnier, Switzerland)가 연결된 전자코(SMART Nose300, SMART Nose, Marin-Epagnier, Switzerland)로 분석하였고, 휘발성 물질들은 70 eV에서 이온화시켜 180초 동안 생성된 이온물질을 사중극자(quadrupole) 질량 필터링을 거친 후 특정 질량 범위(10-200 amu)에는 물질을 정수단위로 측정하여 채널(channel)수로 사용하였다. 실험분석 초기에 공기 시료를 대조구로 사용하였으며, 모든 시료는 3회 반복을 실시하였다. 이 때 각각 다른 channel의 감응도는 matrix 형태로 기록되었으며 이온화되어 얻어진 분자들 중 차별성이 높은 분자량( $m/z$ )을 갖는 variables 그룹을 10-20개 선정하여 판별함수분석을 실시하였다. 이때 사용된 소프트웨어는 SMART Nose® 통계분석소프트웨어(statistical analysis software) (Version 1.51, THOPAS Soft Creation, Marin-Epagnier, Switzerland)를 사용하였다. 시료는 물, 페트병, 뚜껑을 대상으로 농도별 관찰을 통해 이취분석을 실시하였다.

이취가 있는 생수의 농도에 따라 이취의 성분이 증가하는지를 알아보기 위하여 이취 생수를 농도별로 분석을 진행하였으며, 페트병과 뚜껑은 전처리 없이 시료 자체를 해당하는 무게만큼 최소한으로 잘라서 농도별로 유리병에 취하였다.

### 판별함수분석(Discriminant Function Analysis; DFA)

전자코 분석에서 사용된 판별함수 분석은 휘발성 향기성분으로부터 생성되는 10-200 amu의 이온분획(ion fragment) 중 각 시료 간에 차별성이 높은 30개 미만의 분획( $m/z$ )을 독립변수로 선

Table 1. Sample list for contaminated PET bottle water

Sample	Packaging bottle
A	Off-flavor water filled PET bottle
B	A company water filled PET bottle
C	B company water filled PET bottle

택하였다. 선택된 독립변수의 해당 감응도 값을 이용하여 다음 식에 따라 판별함수분석(DFA)을 실시하였으며 종속변수에 영향을 주는 독립변수를 검정하였다.

$$DFA=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_3X_3+\dots+B_nX_n$$

$B_0$ 는 항수(constant)값이고  $B_1$ 는 계수(coefficients)를,  $x$ 는 각각의 amu값에서의 감응도를 나타낸다. 판별함수 값은 독립변수 중에서 반응(response) 값에 해당하는 종속변수에 영향을 많이 준 DF1 (first score from discriminant function analysis), DF2 (second score from discriminant function analysis)를 대상으로  $x$ 축에는 DF1을  $y$ 축에는 DF2를 나타내 2차원의 패턴형식으로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

### 생수의 농도에 따른 휘발성분 차이 분석

이취가 있는 생수의 함량에 따른 휘발성분 패턴을 알아본 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그래프의  $x$ 축에 해당하는 DF1의 F값이 461.36이고  $y$ 축에 해당하는 DF2의 F값이 32.13으로 나타나  $x$ 축과  $y$ 축의 비율이 약 14:1로 주로 DF1에 의하여 시료간의 차이가 구분의 영향을 주나 DF1 값에 의해서는 차이가 미미하였으며 DF2 값에 따라 차이가 나는 것으로 미루어 보아 매우 미미한 차이가 감지되었다. 냄새를 갖지 않는 공기를 대조구로 보았을 때 DF1을 기준으로 공기는 상대적으로 오른쪽(양의 방향)에 위치하였으며 생수의 시료는 왼쪽(음의방향)에 위치하는 것을 볼 수 있었다. 이것은 휘발성분이 많아질수록 DF1의 왼쪽 방향에 위치하는 경향을 보여주는 것으로 나타났다. 이취가 나는 생수의 경우 시료 A의 농도가 증가함에 따라 DF2의 아래쪽(음의 방향)에서 위쪽방향(양의 방향)으로 이동하며 휘발성분이 증가하는 경향을 보여주고 있다. 위의 결과는 이취가 난다고 생각 되어지는 A의 생수에서 농도가 많아짐에 따라 휘발성분이 많아지는 것을 보아 생수의 농도에 따라 이취의 성분이 증가하는 경향으로 볼 수 있다. 따라서 생수 A에서 이취가 난다고 의심해 볼 수 있었다.

물에서 이취가 나는 원인은 여러 가지가 될 수 있는데 그 중 대표적인 이유는 먼저 생수가 오염되었거나 그 다음으로는 페트병 내부에서 휘발성 물질의 이행이 되거나 페트병 뚜껑에서 휘발성 물질이 이행이 되어 이취가 날 수 있다. 생수에서 냄새가 나는 이유는 대표적 물의 냄새 유발 물질인 geosmin과 2-메틸아이소보르네올(2-methylisoborneol)의 경우 Actinomyces와 Cyanobacteria에 의해 자연으로 발생되며 이들은 수 ng/L 정도의 농도(후각 감지농도 4-20 ng/L)로도 흙 냄새나, 곰팡이 냄새를 낼 수 있는 것으로 알려 지고 있다(11). 페트나 HDPE (high density polyethylene)의 병, 폴리프로필렌(polypropylene)로 이루어진 뚜껑, 그리고 유연제로 쓰인 에틸비닐아세테이트(ethyl vinyl acetate)로부터 휘발성 분해 생성물이 오존이 처리된 물로 이행되는지를 알아보기 위해 40°C 조건에서 10일간 저장하여 자동열탈착이 부착된 GC를 통해 분석한 결과 에틸비닐아세테이트 유연제가 함유되어 있는 폴리프로필렌 뚜껑이 오존 처리된 물에서 오존과 반응하여 이취를 생성하였다고 보고한 바 있다(12). 생수

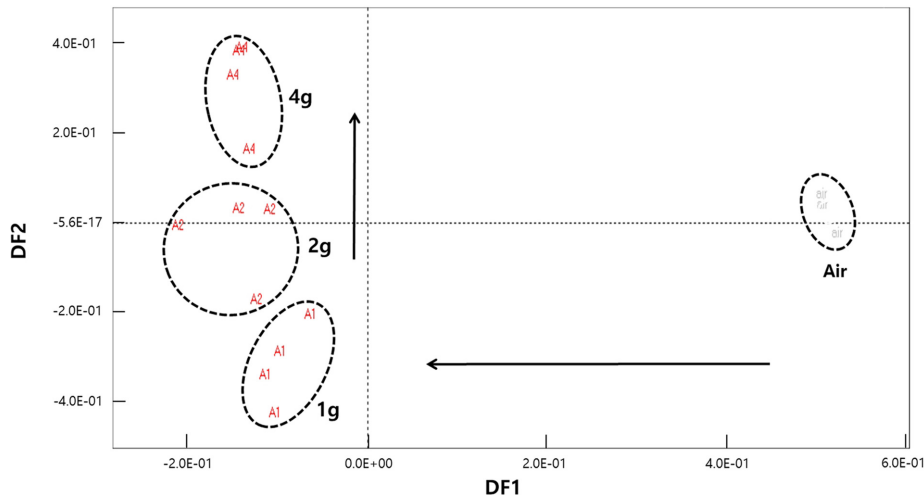


Fig. 1. Discriminant function analysis of the obtained data by mass spectrometry based on electronic nose at various concentrations of the off-flavor water filled in PET bottle (DF1:  $r^2=0.9921$ ,  $F=461.36$ , DF2:  $r^2=0.8976$ ,  $F=32.13$ ).

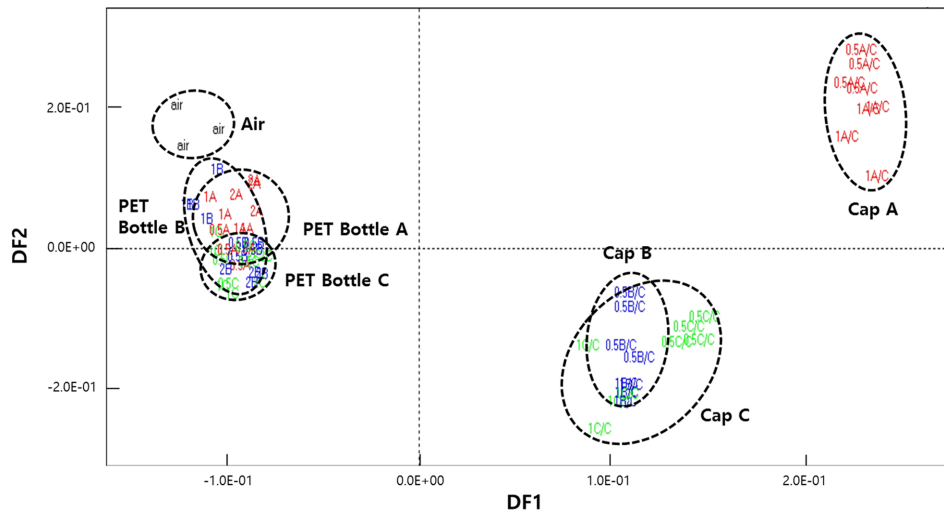


Fig. 2. Discriminant function analysis of the electronic nose data for the flavor patterns of bottle and cap of PET bottle without water (DF1:  $r^2=0.9959$ ,  $F=771.70$ , DF2:  $r^2=0.9823$ ,  $F=174.72$ ). A. B. C means different PET bottle water. Numbers mean concentration of water, PET bottle and cap

시료에서 이취가 나는 원인은 생수 자체에 의해서 냄새가 나거나 페트 생수병 혹은 페트 생수병의 뚜껑 등 포장용기일 가능성이 높다고 판단된다.

#### 페트병과 페트병의 뚜껑 농도에 따른 휘발성분 차이 분석

이취의 원인이 페트병 혹은 페트병의 뚜껑이라고 가정되어 이들의 전자코 분석 후 휘발성분 패턴을 분석한 결과는 Fig. 2과 같다. DF1의 F값은 771.70, DF2의 F값은 174.72로 약 4배에 해당하는 차이가 나타나는 것으로 보아 주로 DF1에 의해 영향력을 4:1의 비율로 받는 것을 알 수 있다. 따라서 이 역시 DF1의 음의 방향(왼쪽방향)으로 이동할수록 휘발성분이 증가하였다.

Fig. 2의 휘발성분 패턴을 보면 A, B, C의 페트병(bottle A, bottle B, bottle C)이 DF1의 왼쪽 방향으로 공기와 근접하게 뭉쳐있는 것을 보아 페트병은 휘발 성분의 차이가 거의 없음을 보여준다. 그러나 뚜껑의 경우 시료마다 다른 휘발성분 패턴을 보여주었는데 이취가 나지 않는 생수의 뚜껑의 경우(B, C) DF1의 방향이 bottle과는 다른 DF2의 오른쪽 방향으로 이동한 휘발성분

패턴을 보여주었다. 그러나 이취가 나는 생수 뚜껑의 경우(cap A) cap B, C보다 DF1의 오른쪽 방향으로 더 쏠려 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 공기와 DF1의 방향이 양의 방향으로 차이를 보여 많은 휘발성분을 갖고 있다는 것으로 생각되어지고 이는 이취가 많이 난다고 판단할 수 있다. Fig. 1과 다르게 반대 방향으로 이취가 많이 나타났는데 시료들에 따라 다를 수 있다. 생수만 비교하는 것과 페트병, 뚜껑을 비교하는 경우 이취 외에 이들 자체가 가지고 있는 휘발성분으로 인해 휘발성분의 패턴이 달라져 이취가 나는 방향이 다르게 나타날 수 있다.

위의 결과를 통하여 bottle보다는 뚜껑에서 냄새의 영향을 더 많이 받고 특히 이취가 나는 뚜껑의 경우 다른 뚜껑과는 다르게 더 많은 휘발성분이 검출되는 것을 알 수 있었다.

#### 생수와 페트병과 페트병 뚜껑의 ion fragment 분석

앞에서 전자코 분석을 토대로 이취의 원인이 생수병의 뚜껑이라고 생각되지만, bottle이나 뚜껑에서 날 수 있는 여러 가지 이취 성분들을 조사하여 각 성분의 질량스펙트럼(mass spectrum)의

Table 2. Sensitivity analysis of the major ion fragment when analysis PET bottle and cap as electronic nose

amu	PET bottle			Cap			Relative sensitivity of mass spectrum*		
	A	B	C	A	B	C	2,4-di- <i>tert</i> -butylphenol	nonanol	decanal
41	0.004514	0.003054	0.005238	0.036396	0.022864	0.023978	155	316	807
43	0.00609	0.005065	0.007408	0.041263	0.025665	0.027335		180	999
49	0.000191	0.00019	0.000207	0.000441	0.000353	0.000357			
50	0.000423	0.000365	0.00048	0.002016	0.00148	0.001512			
53	0.000614	0.000477	0.000709	0.004044	0.002674	0.002761			
54	0.00046	0.000399	0.000525	0.003914	0.002517	0.002646			
55	0.000835	0.000701	0.000993	0.013812	0.008169	0.008619		293	618
56	0.00062	0.000545	0.000727	0.010102	0.006016	0.006343			429
57	0.000499	0.000541	0.000632	0.02631	0.015557	0.016792	334	999	621
58	0.000324	0.000284	0.000346	0.001536	0.000978	0.001039			
63	0.000191	0.000174	0.000196	0.000602	0.000438	0.000452			
65	0.000241	0.000204	0.000261	0.001332	0.000887	0.000924			
66	0.00025	0.000227	0.000287	0.001104	0.000773	0.000798			
67	0.000417	0.000338	0.000483	0.004733	0.00296	0.003104		73	
68	0.000328	0.000272	0.000369	0.002312	0.001498	0.00157			
69	0.000317	0.00028	0.000364	0.004744	0.002783	0.002962		288	
70	0.000307	0.000252	0.000344	0.004607	0.002655	0.002828			471
71	0.00063	0.000273	0.000738	0.009276	0.005542	0.006055		72	337
78	0.000226	0.000218	0.000242	0.001257	0.000905	0.000935			
80	0.000175	0.000166	0.000185	0.000772	0.000525	0.000553			

\*NIST MS Search 2.0

이온분획과 시료에서 가장 차별성이 높았던 이온 분획의 감응도 값을 Table 2에 나타냈다.

2,4-di-*tert*-butylphenol의 경우 대부분 HDPE용기에 첨가된 항산화제인 Irgafos 168의 분해산물로서 생수의 관능학적 품질에 영향을 미칠 수 있다고 알려져 있다(13). HDPE는 대부분의 생수 페트병의 뚜껑을 제조하는데 사용된다(14). 노난올(Nonanol)과 데칸알(decanal)의 경우 페트에서 분해되는 알코올(alcohol) 및 알데하이드(aldehyde)류의 물질로서 후각 문턱값이 낮아 쉽게 이취를 유발하는 휘발성 물질로 알려져 있다(15). 따라서 위의 3가지가 이취의 원인 물질로 생각되어 주요 이온분획을 조사하여 나타내었다.

페트병과 뚜껑의 경우 가장 차별성이 높았던 이온분획은 41, 43, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57 amu 등 총 33가지로 나타났다. 위의 차별성이 높았던 이온분획의 범위 중에서 2,4-di-*tert*-butylphenol의 경우 주요 이온분획이 41, 57 amu이었고, 노난올은 41, 43, 55, 57, 67, 69, 71 amu, 데칸알의 경우 41, 43, 55, 56, 57, 70, 71 amu이었다. 그 결과 노난올의 경우 차별성이 높았던 bottle과 bottle cap의 이온분획의 amu와 노난올의 amu가 일치하였다. 또한 2,4-di-*tert*-butylphenol과 데칸알의 경우에도 1-2개의 amu를 제외하고는 대부분 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 위의 세 가지의 이취의 원인이 되는 물질들이 페트병과 뚜껑에 포함되어 있다고 추측된다.

위의 세 가지의 이취 휘발 성분의 주요 amu에서 시료들이 어떠한 감응도 값을 갖는지를 Fig. 3에 나타내었다. 그 결과 이취가 나서 문제가 되었던 생수(A)의 경우 각각의 amu에서 가장 높은 감응도 값을 보여주었다. Fig. 3(a)를 보면 이취가 나는 물(A)의 경우 이취가 나지 않는 물(B)보다 더 높은 감응도 값을 보여주었다. 또한 페트병보다는 뚜껑에서 더 높은 감응도를 보여주는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 cap A에서 위의 휘발 성분에 기인하여 물에 이취가 발생하였을 것으로 예측되었다.

Jung 등(2)의 연구 결과 생수의 뚜껑에서 사용된 Irgafos 168의 분해산물이 생수에서 발견된 것으로 보아 뚜껑으로부터 이행되었을 것이라고 추측하였다. 따라서 뚜껑도 생수로부터 이취를 생성할 수 있는 원인이 될 수 있음을 확인하였다. 생수의 뚜껑에서 냄새가 나는 이유를 추측해 보자면 물이 운반되면서 눅눅해 생수에 닿을 경우 물에서 뚜껑의 냄새가 이행될 수 있다. 또한, 이취가 나는 생수병의 뚜껑 색깔이 달랐는데, 뚜껑에 색을 첨가하는 과정에서 문제가 발생되었다고 여겨진다. 그 외에 뚜껑을 이동 시키는 과정에서 오염이 발생하였을 가능성도 있다.

생수와 같이 고유의 향미와 냄새가 없거나 매우 미약한 제품의 경우 포장재로부터의 물질 이행에 의한 이취의 문제는 충분히 발생할 수 있을 것이다. 이는 생수 품질에 악영향을 줄 수 있을 것이라고 판단되어 사후 조치가 빠르게 이루어져야 한다.

전자코는 휘발성분에 관한 영향을 많이 받으며 시료간의 휘발 성분 패턴 차이를 구별해주는 기기이므로 휘발성분의 양에 대한 상대적인 차이는 확실한 것으로 추측된다. 또한, 전자코는 시료의 전체적인 휘발 성분의 양에 대한 상대적 차이를 측정할 수 있는 기기이다. 본 실험에서는 물과 페트병과 뚜껑의 분석이 진행되었는데, 전체적인 휘발 성분 패턴은 구분 가능하였지만 보고자하는 성분의 관점에 따른 비교는 조금 어려울 것으로 예상된다. 따라서 추후 연구에서는 뚜껑의 어떠한 영향 때문에 이취가 나게 되는지 더 자세한 연구가 필요할 것이라고 생각된다.

## 요 약

원료인 생수와 포장 용기인 페트병과 뚜껑에서 야기되는 이취 성분의 존재여부를 MS-전자코를 통하여 분석해 보았다. 이취가 나는 생수는 농도별로 DF2 양의 방향으로 이동하는 것을 확인할 수 있었고, 이취의 원인이 페트병 혹은 페트병의 뚜껑이라고

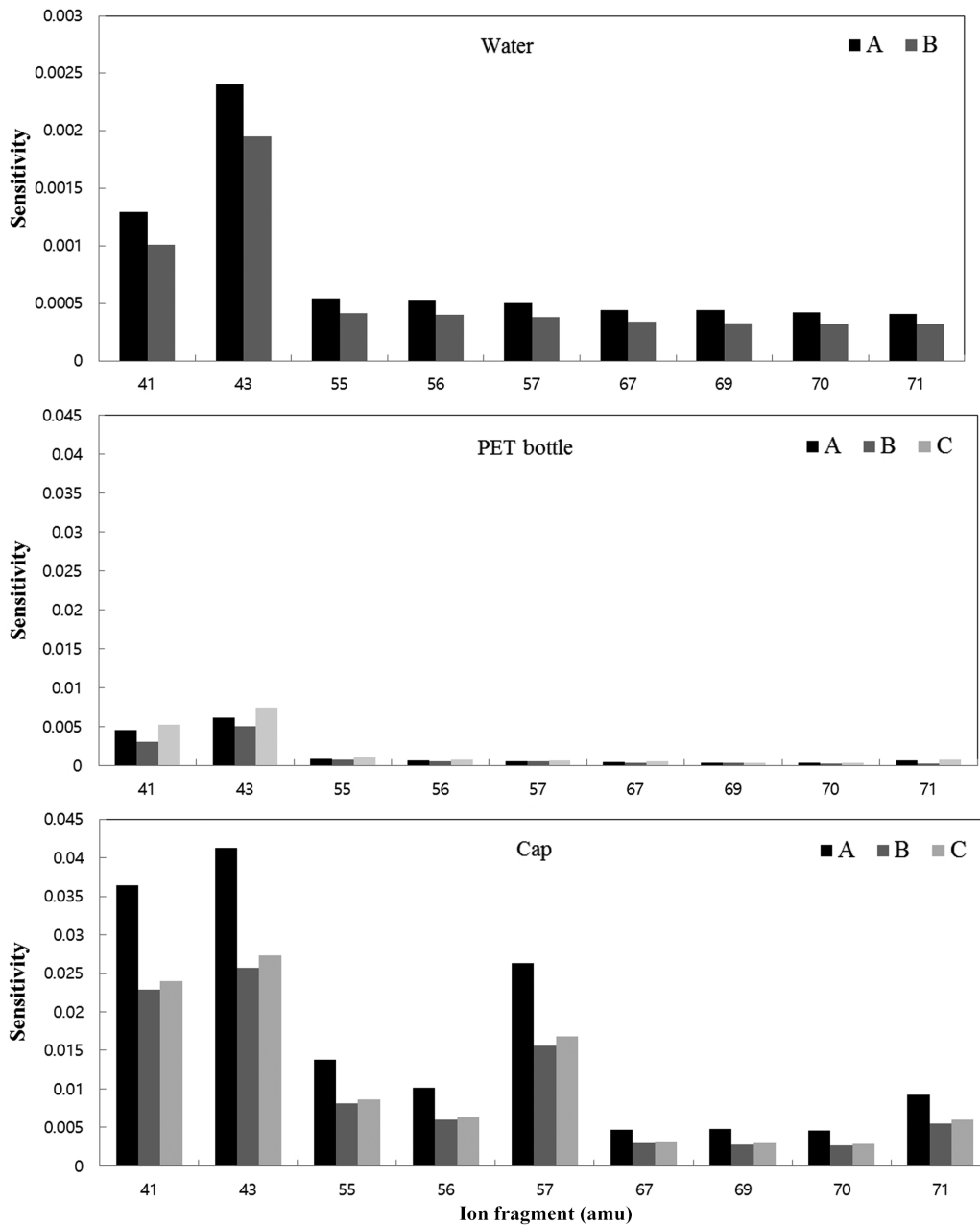


Fig. 3. The sensitivity of major ion fragment in 2,4-DTBT, nonanol and decanol. Those resulted from water (A), PET bottle (B) and cap (C).

가정하여 분석을 진행한 결과 뚜껑에서 휘발 성분이 페트병 보다 많이 검출되는 것으로 나타났다. 이는 물에서 나는 이취가 페트병보다는 뚜껑에 영향을 더 많이 받았을 것이라고 볼 수 있었다. 또한 이온 분획의 결과로 보아 이취의 원인이 되는 물질인 2,4-di-*tert*-butylphenol, 노난올과 데칸올이 페트병과 뚜껑에 포함되어 있다고 추측되었다.

### 감사의 글

본 연구는 2015년도 서울여자대학교 교내 학술특별연구비에 의해 수행되었습니다.

### References

1. Bruchet A, Hochereau C. Analysis of trace compounds responsible for tastes and odors in drinking waters: Water analysis. *Analisis 25: M32-M34* (1997)
2. Jung EM, Kim DJ, Lee KT. Identification of the volatile compounds in polyethylene terephthalate bottles and determination of their migration content into mineral water. *Korean J. Food Sci. Technol.* 46: 19-24 (2014)
3. Ewender J, Franz R, Mauer A, Welle F. Determination of the migration of acetaldehyde from PET bottles into non-carbonated and carbonated mineral water. *Deut. Lebensm-rundsch.* 99: 215-221 (2003)
4. Villain F, Coudane J, Vert M. Thermal degradation of polyethyl-

- ene terephthalate: Study of polymer stabilization. *Polym. Degrad. Stabil.* 49: 393-397 (1995)
5. Choi JO, Jitsunari F, Asakawa F, Park HJ, Lee DS. Migration of surrogate contaminants in paper and paperboard into water through polyethylene coating layer. *Food Addit. Contam.* 19: 1200-1206 (2002)
  6. Izaguirre G, Hwang CJ, Krasner SW, McGuire MJ. Geosmin and 2-methylisoborneol from cyanobacteria in three water supply systems. *Appl. Environ. Microb.* 43: 708-714 (1982)
  7. Mehran MF, Nickelsen MG, Golkar N, Cooper WJ. Improvement of the purgeandtrap technique for the rapid analysis of volatile organic pollutants in water. *J. High Res. Chromatog.* 13: 429-433 (1990)
  8. Kim TJ, Kim BJ, So HY, Kwang H. Analysis of trace odorous compounds (geosmin and 2-methylisoborneol) in water by using GC/MS. *Anal. Sci. Technol.* 15:534-539 (2002)
  9. Shin HS, Ahn HS. Simple, rapid, and sensitive determination of odorous compounds in water by GC-MS. *Chromatographia* 59: 107-113 (2004)
  10. Palmentier J-PFP, Taguchi VY, Jenkins SWD, Wang DT, Ngo KP, Robinson D. The determination of geosmin and 2-methylisoborneol in water using isotope dilution high resolution mass spectrometry. *Water Res.* 32: 287-294 (1998)
  11. Lloyd SW, Lea JM, Zimba PV, Grimm CC. Rapid analysis of geosmin and 2-methylisoborneol in water using solid phase micro extraction procedures. *Water Res.* 32: 2140-2146 (1998)
  12. Song YS, Al-Taher F, Sadler G. Migration of volatile degradation products into ozonated water from plastic packaging materials. *Food Addit. Contam.* 20: 985-994 (2003)
  13. Skjervrak I, Due A, Gjerstad KO, Herikstad H. Volatile organic components migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. *Water Res.* 37: 1912-1920 (2003)
  14. Marcato B, Guerra S, Vianello M, Scalia S. Migration of antioxidant additives from various polyolefinic plastics into oleaginous vehicles. *Int. J. Pharm.* 257: 217-225 (2003)
  15. Strube A, Buettner A, Groetzinger C. Characterization and identification of a plastic-like off-odor in mineral water. *Water Sci. Technol.* 9: 299-309 (2009)