J. Fd Hyg. Safety
Vol. 25, No. 3, pp. 203~208 (2010)

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

폴리스티렌 식품용기로부터 증류수로 용출되는 휘발성유기화합물의 분석

김남훈*· 김애경 · 조태희 · 박경애 · 곽재은 · 김지영 · 김일영 · 채영주 · 김민영
서울특별시 보건환경연구원

Migration Measurement of Volatile Organic Compounds (VOCs) from Polystyrene-made Food Containers into Distilled Water

Nam Hoon Kim*, Ae Kyeong Kim, Tae Hee Cho, Kyung ai Park, Jae Eun Kwak, Ji Young Kim, Il Young Kim, Young Joo Chae, and Min Young Kim
Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Juam-dong 1, Gwancheon-si, Gyeonggi-do 427-805, Korea
(Received May 13, 2010/Revised July 10, 2010/Accepted August 11, 2010)

ABSTRACT - In this study, the level of migration of 5 kinds of volatile organic compounds (VOCs) (toluene, styrene, ethylbenzene, isopropylbenzene and n-propylbenzene) into distilled water from polystyrene-made food containers was measured using Purge&Trap combined with GC/FID. The contents of the VOCs which have regulatory limits in Korea food code only for material specification were determined under three exposure conditions which were 30 min at 60°C, 30 min at 95°C and actual situation of instant noodle intake. The calibration curve of 5 compounds showed good linearity (r^2 = 0.9976~0.9995) within the concentration range of 1~50 ng/mL. The limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) were validated at range of 0.041~0.092 and 0.135~0.304 ng/mL, respectively. The average migration contents of 5 compounds were below 5 ng/mL except for styrene. The average contents of styrene were highly detected at 95°C for 30 min exposure (52.71 ng/mL). Under actual condition at instant noodle intake, the average contents of styrene was 17.23 ng/mL. The results demonstrated that the migration rate of VOCs was related to storage temperature and time.

Key words: volatile organic compounds (VOCs), polystyrene

폴리스티렌은 에틸렌에 벤젠기가 붙어 있는 스티렌 단위체를 중합하여 만든 선형의 긴 사슬 폴리머로 비닐기에 벤젠핵을 함유한 구조를 가진 무극성 중합체이며, 비결정성 플라스틱으로 무색투명한 성질을 가지고 있다[1]. 폴리스티렌에는 스티렌의 단독중합체인 일반용 폴리스티렌(GPPS)이외에도, 고무성 물질을 넣은 고충격성 폴리스티렌(HIPS)과 발포제를 사용한 발포성 폴리스티렌(EPS)이 있다[2-3]. HIPS는 요구르트 용기나 치즈, 크림같은 식품의 튜브포장용으로 사용되며, EPS는 단열성, 내수성이 우수하여 일회용 도시락 및 반찬류의 포장용기뿐만 아니라 특히 인스턴트 라면 용기를 비롯하여, 즉석 국류의 컵등에 다양하게 사용되고 있다[4].

폴리스티렌 용기는 가볍고 가격이 저렴하며 사용하기에 편리하다는 장점에도 불구하고 성형과정에서 첨가되는 가공보조제들의 안전성 문제가 끊임없이 제기되고 있다. 특히 재질로부터 유래되는 물질들의 접촉하는 식품으로의 이행 및 용출문제는 식품 자체의 품질변화뿐만 아니라 소비자들의 식품안전에도 큰 위협이 될 수 있다. 특히 스티렌의 중합과정에서 생성되는 스티렌 다이머 및 트리머는 내분비계 장애물질로 추정되어 접촉하는 식품 및 식품모사체(food simulant)에서의 잔존여부가 국내외적으로 많이 조사 · 연구되어 왔다[2-6]. 또한 GPSS 및 HIPS를 대상으로 8% 에탄올과 식용유를 식품모사액체(food simulating liquid)로 사용하여 다양한 온도와 시간에 따른 휘발성 물질인 스티렌 및 중합부산물인 스티렌 옥사이드(styrene oxide)의 이행 및 용출여부에 대한 연구도 보고된 바 있다[7-10].

휘발성유기화합물(volatile organic compounds;VOCs)은 여러 가지 환경매체의 오염 양상을 파악하는 중요한 식별인자로 활용되고 있으며 그 물질 자체가 독성 및 발암성을 지니기도 하며, 악취 및 오존 생성의 원인물질로 작용하기도 한다[11-13]. VOCs의 인체유해성은 명확히 알려지지 않았지만, 벤젠 및 1,3-부타디엔 등과 같은 몇몇 개별 성분들은 인체나 동식물에 축적될 경우, 생식기능의 손상 및

*Correspondence to: Nam Hoon Kim, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment
Tel: 82-2-968-5091, Fax: 82-2-964-8174
E-mail: nhkim70@Seoul.go.kr

암발생 등과 같이 인체건강에 심각한 영향을 미칠 수 있으며[14], 호흡기와 순환기뿐만 아니라 신경계에 독성이 강하고 말초신경계의 감각을 저하시키며 유전독성을 내포하고 있는 것으로 보고되고 있다[15]. 최근에는 아토피성 피부염 등의 원인 물질으로 알려진 벤젠과 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠, 트리클로르에틸렌, 디클로로메탄 등의 휘발성유기화합물이 인간 혈액 세포주에서 면역반응과 세포사멸, 세포독성에 관여하는 IF1T1, USP18, INFGR2 등 10여개 유전자들의 발현에 관여한다고 보고되었다[16]. 휘발성유기화합물은 대기환경과 관련하여 환경부 고시 제 2009-198호(2009.8.27)를 통해 37종이 지정되어 있으며 용기・포장 관련해서는 현재 식품공전에서 폴리스티렌 등 몇몇의 합성수지제에 대하여 재질시험에 한해 휘발성물질이란 항목으로 스티렌, 톨루엔, 에틸벤젠, 이소프로필벤젠 및 n-프로필벤젠 5가지 휘발성유기물질을 검사하도록 기준이 설정되어 있다[17].

폴리스티렌 용기는 그 사용목적에 따라 식육용 트레이처럼 낮은 온도에서 장기간 보존하는 식품에서부터 컵라면이나 즉석국처럼 물의 끓는점에 가까운 온도에서 사용하는 식품에서까지 그 사용범위가 넓으며 특히 고온에서 사용하는 경우에는 용기로부터 식품으로 용출되는 물질에 대한 안전성 여부가 논란이 되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 뜨거운 국 등을 담는 일회용 폴리스티렌 용기와 컵라면 등에 사용되는 용기를 대상으로 용출온도를 달리하여 스티렌 등 5종의 휘발성유기화합물의 용기내 증류수로의 이행여부를 Purge&Trap 장치를 이용하여 분석하였으며, 또한 실생활에서 사용하는 방법과 유사한 조건을 설정하여 휘발성물질의 이행여부를 측정하였다.

재료 및 방법

실험재료

서울 가락시장내 일회용용기를 판매하는 도매상에서 다양한 용량크기(300~900 mL)의 폴리스티렌 용기 14종류를 구입하였으며, 서울시내 대형마트에서 폴리스티렌 용기를 사용하는 컵라면 제품 7건(250~600 mL)을 구매하여 실험재료로 사용하였다.

표준물질

분석대상 5종의 휘발성유기물질들은 Table 1과 같으며, 톨루엔은 Supelco사(Bellefonte, PA, USA)의 제품을 사용하였고 스티렌, 에틸벤젠, 이소프로필벤젠과 n-프로필벤젠은 Accustandard사(New Haven, CT, USA)의 제품을 사용하였다.

기기 및 분석조건

분석에 사용한 기체크로마토그라피(GC)는 Agilent 6890 series (Agilent Technologies, Inc., CA, USA)에 FID 검출기를 연결하여 사용하였으며 시료 전처리 장치로 Tekmar 3100 purge&trap concentrator (Teledyne tekmar, OH, USA)와 25 mL frit sparger 장착되어 있는 Tekmar AQUA Tek 70 liquid autosampler를 사용하였다. 또 트랩내의 수분을 효과적으로 제어하기 위하여 MCM (moisture control module)을 장치하였으며 사용된 GC 및 purge&trap 조건은 Table 2와 같다.

Table 1. Volatile organic compounds (VOCs) investigated in this study

Name	Formula	M.W
Toluene	C_7H_8	92
Styrene	C_8H_8	104
Ethylbenzene	C_8H_{10}	106
Isopropylbenzene	C_9H_{12}	120
n-Propylbenzene	C_9H_{12}	120

표준용액의 조제

200 μg/mL 농도의 각 표준물질 100 mg을 정밀히 달아 100 mL 용량플라스크에 취하고 증류수로 표시선까지 채워 200 ng/mL 표준원액을 제조하였으며, 이 중 톨루엔, 에틸벤젠, 이소프로필벤젠 및 n-프로필벤젠은 1, 2, 4, 10 및 20 ng/mL로 단계적으로 희석하여 표준용액으로 사용하였고 스티렌은 1, 2, 4, 10 및 50 ng/mL로 희석하여 사용하였다.

검출한계 및 정량한계

얻어진 검량곡선(calibration curve)을 바탕으로 검출한계(LOD)는 3.3σ/S(σ:y-intercepts of regression analysis, S:slope of a calibration curve)으로, 정량한계(LOQ)는 10σ/S의 수식에 의해 계산하였다.

용출시험

용출시험을 위해 증류수를 모사용액(simulating liquid)으로 선택하여 용출시험을 행하였다. 일반용기의 경우 용기 부피에 따라 80% 용량(240~720 mL)의 가열한 증류수를, 컵라면 용기의 경우 표시선까지 가열한 증류수를 가한 후 시계접시로 뚜껑을 덮은 다음 일정한 온도로 유지되는 항온기에 저장하면서 용출시킨 다음 50 mL를 채취하여 3회 반복시험하였다. 용출조건을 살펴보면 첫째, 현 식품공전에서 용출시험에 보편적으로 사용하는 60ºC에서 30분간, 둘째, 고온에서 섭취시를 고려하여 95ºC에서 30분간 그리고 셋째, 실생활에서 컵라면 섭취할때의 조건을 고려하여 끓은 물을 부은 후 뚜껑을 덮고 상온에서 3분간 유지한 다음 뚜껑을 열고 5분 동안 개방하여 용출시키는 것으로 설정하였다.

결과 및 고찰

검량곡선, 검출한계 및 정량한계

톨루엔, 에틸벤젠, 이소프로필벤젠 및 n-프로필벤젠은 1,

Table 2. Analytical conditions of GC and purge&trap for VOCs determination

GC	Agilent 6890 series
Detector	FID
Column	Restek N9611348(30 m × 320 μm × 1.5 μm film thickness)
Injector temp.	250°C
Detector temp.	280°C
Oven temp.	40°C(2min)-3°C/min → 65°C-6°C/min → 100°C(2 min)-50°C/min → 170°C
Injection volume	1 μl
Split ratio	7.555:1
Column flow rate	2 mL/min
Purge&Trap	Tekmar 3100
Trap material	Tenax
Line & Valve temp	120°C
Mount temp.	60°C
Purge ready	35°C
Purge time	11 min
Desorb preheat	220°C
Desorb	4 min at 225°C
Bake	10 min at 225°C

2, 4, 10 및 20 ng/mL의 농도로, 스티렌은 1, 2, 4, 10 및 50 ng/mL의 농도로 표준용액을 제조하여 Purge&Trap으로 분석한 결과의 크로마토그램을 Fig. 1에 나타내었다. 검량선 작성은 각 성분의 농도에 따른 피크 면적을 이용하였고, 이 때 각 표준물질의 농도범위에서 3회 반복하여 분석한 결과 상관계수(Correlation coefficient) r^2는 0.9976~0.9995의 직선성을 얻을 수 있었다.

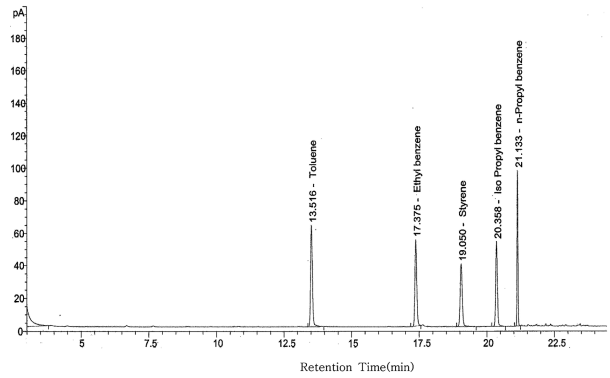

Fig. 1. GC chromatogram of VOCs standard mixture analyzed by Purge&Trap at 10 ng/mL.

검출한계 및 정량한계의 측정은 얻어진 검량곡선을 바탕으로 signal과 noise의 비율(S/N ratio)이 3에 해당하는 기기적인 검출한계(LOD)로 계산한 결과 0.041~0.092 ng/mL의 값을 얻을 수 있었으며 signal과 noise의 비율이 10에 해당하는 값을 정량한계(LOQ)로 측정한 결과는 0.135~0.304 ng/mL 이었다(Table 3). 이는 Shin등[13]이 대기 환경시료 중 가스크로마토그라피/질량분석기(GC/MSD)를 이용하여 VOCs를 측정한 실험에서 제시한 검출한계 0.01~0.05 ng/mL 보다는 약간 높은 수준이었으나 Kim등[12]이 헤드스페이스/가스크로마토그라피/질량분석기(HS/GC/MSD)를 이용하여 폐기물 시료인 슬러지 중의 휘발성유기물질을 분석한 실험에서 최대검출한계가 0.4~1.1 ng/mL 라고 보고한 실험과 Varner등[9]이 다양한 형태의 폴리스티렌컵으로부터 커피, 물등의 식품으로 이행되는 스티렌에 대한 연구에서 검출한계를 3~10 ng/mL 라고 보고한 것에 비해 Purge&Trap 방법이 매우 낮은 농도까지 분석이 가능함을 확인하였다.

온도에 따른 VOCs의 용출량 측정

60°C 와 95°C로 온도를 달리하여 폴리스티렌 용기로부터 5종 VOCs의 증류수내로의 용출정도를 분석한 결과는 Table

Table 3. Calibration equation, correlation coefficient, LOD and LOQ for 5 kinds of VOCs

Compound	Calibration curve	Correlation coefficient (r^2)	LOD (ng/mL)	LOQ (ng/mL)
Toluene	y = 42.22x – 70.38	0.9985	0.041	0.135
Ethylbenzene	y = 39.70x – 77.09	0.9981	0.086	0.284
Styrene	y = 25.48x – 14.43	0.9995	0.067	0.221
Isopropylbenzene	y = 40.41x – 90.93	0.9976	0.053	0.175
n-Propylbenzene	y = 39.65x – 90.69	0.9977	0.092	0.304

4,5와 같았다. 60ºC 용출조건에서 톨루엔은 0.0~3.70 ng/mL, 스티렌은 2.68~17.15 ng/mL, 에틸벤젠은 0.0~1.70 ng/mL, 이소프로필벤젠은 0.0~2.88 ng/mL 및 n-프로필벤젠은 0.0~2.99 ng/mL로 용출됨을 확인하였다. 95ºC에서는 톨루엔은 1.23~3.73 ng/mL, 스티렌은 12.57~186.27 ng/mL, 에틸벤젠은 1.37~11.90 ng/mL, 이소프로필벤젠은 0.0~3.06 ng/mL 및 n-프로필벤젠은 0.0~2.8 ng/mL 검출되었다. 폴리스티렌 용기의 특성상 스티렌을 제외한 나머지 VOCs의 평균용출량은 모두 5 ng/mL 이하로 낮은 수준이었다. 95ºC 온도조건에서 모든 VOCs가 높게 검출되었으며 특히 스티렌의 경우, 60ºC에서 평균용출량이 5.02 ng/mL이었으나 95ºC에서는 52.71 ng/mL로 용출되어 평균농도가 10배 이상 높게 검출되었다. 이는 Lickly등[7]도 다양한 폴리스티렌용기로부터 식품모사체(food simulant)인 식용기름으로 용출되는 스티렌에 대한 연구에서 용출온도를 21ºC에서 66ºC로 상승시킴에 따라 스티렌 용출량이 3~18배 더 많이 용출되었음을 보고하였다. 결국 VOCs의 식품으로의 이행은 폴리스티렌 용기 재질에 함유되어 있는 양에 일차적으로 비례할 뿐만 아니라, 용출온도와 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

실생활 적용 시험에 따른 VOCs의 용출량 측정

실제 생활에서 컵라면 섭취시의 조건을 고려하여 VOCs의 용출량을 측정한 결과를 Table 6에 나타내었다. 95ºC의 끓는물을 용기에 부은 후 상온에서 3분간 시계접시로 덮어 유지한 다음 VOCs를 분석한 결과 톨루엔은 0.0~1.90 ng/mL, 스티렌은 6.90~40.17 ng/mL, 에틸벤젠은 0.0~2.22 ng/mL, 이소프로필벤젠은 0.0~1.28 ng/mL 및 n-프로필벤젠은 0.0~1.60 ng/mL 검출되었다. 계속해서 시계접시를 제거한 후 5분간 상온에서 방치한 다음 용기내로 용출되는 VOCs를 분석한 결과 톨루엔은 0.0~1.58 ng/mL, 스티렌은 2.46~61.41 ng/mL, 에틸벤젠은 0.0~2.60 ng/mL, 이소프로필벤젠은 0.0~1.60 ng/mL 및 n-프로필벤젠은 0.0~1.59 ng/mL로 측정되었다. 분석결과 톨루엔, 에틸벤젠, 이소프로필벤젠 및 n-프로필벤젠의 평균용출량은 60ºC에서 30분 용출결과와 큰 차이가 없었으나, 스티렌은 평균 용출량이 17.23 ng/mL로서 약간 높게 측정되었고 95ºC, 30분 용출결과에 비해서는 낮은 수치를 보였다. 대체로 뚜껑을 덮고 3분간 용출시키는 조건에서 용출량 10 ng/mL 이하의 농도에서는 뚜껑을 열고 5분간 방치하면서 오히려 용출량이 감소하였으며 10 ng/mL

Table 4. Migration levels of VOCs from polystyrene-made food containers into simulating liquid (distilled water) at 60ºC

Sample No.	Mean (ng/mL)				
	Toluene	Styrene	Ethylbenzene	Isopropylbenzene	n-Propylbenzene
1	3.70	3.68	1.19	2.72	2.99
2	1.19	2.68	-*	1.21	2.50
3	1.07	6.29	1.26	-	1.24
4	1.02	4.55	1.08	-	1.22
5	0.97	3.47	-	-	1.20
6	0.95	3.07	-	-	1.19
7	0.92	3.34	-	-	1.18
8	0.90	3.07	-	-	-
9	0.92	3.37	-	-	-
10	1.64	2.97	-	-	-
11	0.91	3.21	-	-	-
12	0.89	2.94	-	-	-
13	-	3.39	-	-	-
14	0.95	5.56	1.06	-	-
15	-	4.09	1.18	-	-
16	-	5.54	1.06	-	-
17	2.00	4.43	1.09	-	-
18	1.97	11.36	1.70	2.41	2.42
19	-	7.66	1.20	-	1.18
20	-	17.15	1.62	2.88	2.98
21	-	3.57	-	-	-
Average	1.00	5.02	0.62	0.46	0.91

*'-' = not detected with an estimated detection limit of 0.04 ng/mL

Table 5. Migration levels of VOCs from polystyrene-made food containers into simulating liquid (distilled water) at 95ºC

Sample No.	Mean (ng/mL)				
	Toluene	Styrene	Ethylbenzene	Isopropylbenzene	n-Propylbenzene
1	3.73	22.21	3.31	2.78	0.17
2	2.37	16.59	2.14	2.89	2.61
3	2.10	48.10	5.26	1.22	2.48
4	1.96	44.73	4.42	2.47	2.52
5	1.97	40.41	3.86	-*	2.39
6	1.26	12.57	2.60	-	-
7	1.69	39.74	4.11	-	2.48
8	1.97	33.65	3.10	-	2.38
9	3.50	58.49	4.44	2.41	2.41
10	2.82	13.27	1.37	-	-
11	2.92	58.84	4.91	2.57	2.61
12	3.07	55.19	2.32	-	-
13	2.76	67.33	3.87	-	2.40
14	3.21	186.27	11.9	3.06	2.78
15	2.16	90.87	7.64	2.83	2.70
16	1.90	46.68	3.77	-	-
17	1.23	30.22	2.93	-	2.41
18	2.81	54.77	5.50	2.69	2.81
19	2.47	44.20	4.25	-	-
20	3.46	92.74	7.24	2.81	2.71
21	2.20	49.99	4.06	-	-
Average	2.46	52.71	4.43	1.29	1.79

*'-' = not detected with an estimated detection limit of 0.04 ng/mL

Table 6. Migration levels of VOCs from polystyrene-made food containers into simulating liquid (distilled water) under actual intake condition

Sample No.	Mean (ng/mL)									
	Toluene		Styrene		Ethylbenzene		Isopropylbenzene		n-Propylbenzene	
	A[1)]	B[2)]	A	B	A	B	A	B	A	B
1	1.06	-*	6.98	2.46	1.02	-	1.00	-	1.40	-
2	1.08	-	9.14	2.96	1.59	-	0.72	-	1.17	-
3	0.46	-	8.58	6.01	1.30	-	-	-	0.66	-
4	0.48	-	16.30	23.54	1.41	-	-	-	1.06	1.05
5	0.42	-	7.33	6.15	1.25	0.23	-	-	0.66	-
6	-	-	7.89	4.30	1.17	0.11	-	-	0.65	-
7	-	-	22.2	29.64	1.22	-	-	-	0.64	-
8	-	-	6.90	4.93	1.19	-	-	-	0.80	-
9	1.90	1.58	13.04	22.42	1.06	0.37	-	-	-	-
10	1.30	0.20	15.65	21.67	-	-	-	-	-	-
11	1.16	0.34	18.80	21.35	1.68	0.30	-	-	1.05	1.50
12	1.28	0.40	25.43	32.54	-	-	-	-	-	-
13	1.17	0.39	26.54	35.89	1.50	0.89	-	-	-	-
14	1.14	0.40	40.17	61.41	2.12	1.48	1.28	1.60	1.49	1.59
15	0.90	0.61	23.15	24.49	2.22	2.60	0.71	0.43	1.50	1.52
16	-	-	10.80	11.34	1.02	0.25	-	-	-	-
17	-	-	9.23	2.51	1.29	0.27	-	-	-	-
18	1.55	0.87	18.84	20.67	2.13	1.83	1.23	0.37	1.60	1.50
19	0.53	0.42	8.42	4.21	1.21	1.15	-	-	0.41	-
20	1.18	1.14	15.39	17.83	1.67	1.90	0.74	0.75	0.86	0.87
21	0.40	-	7.28	5.51	1.09	1.23	-	-	-	-
Average	0.76	0.30	15.15	17.23	1.29	0.60	0.27	0.22	0.66	0.38

[1)]A : containers were closed with lid for 3 minutes at room temp.
[2)]B : containers were closed with lid for 3 minutes and opened without lid for 5 minutes at room temp.
*'-' = not detected with an estimated detection limit of 0.04 ng/mL

이상에서는 증가함을 확인할 수 있었다. 이는 용기재질에서 유래되는 VOCs의 초기용출량에 따라 휘발성 물질이 대기중으로 휘발되거나 자연적 생분해(biodegradation)되는 것보다 모사액체인 증류수로 용출되는 양이 더 많기 때문이라고 판단되었다. Lickly등[18]은 다양한 폴리스티렌 용기에서 식품으로 용출되는 스티렌의 일일추정섭취량(estimated daily intake, EDI)을 계산하여 9 μg/person/day 이라고 보고하였으며 이는 Styrene Information and Research Center에서 계산한 스티렌에 대한 일일허용섭취량(acceptable daily intake, ADI)이 90,000 μg/person/day 인 것을 감안하면 폴리스티렌 용기로부터 용출되어 섭취되는 스티렌의 양은 매우 미미하여 건강상에 위해가 되지 않는다고 하였다. 하지만 용출온도를 용기형태에 따라 다르지만 최대 135 °F (54.44ºC)에서 용출시켜 확산계수(diffusion coefficient)를 계산하였으며 이는 온도가 높을수록 스티렌 용출량이 증가함에서 알 수 있듯이 컵라면 및 국물류등 고온에서 폴리스티렌 용기를 사용하는 경우에는 또 다른 일일추정섭취량의 계산이 필요한 실정이다.

현 식품공전에서는 폴리스티렌 용기에 대해서 열탕용으로 사용하는 발포스티렌의 경우 재질시험에 한해 휘발성물질의 총량을 2000 mg/kg으로, 특히 스티렌과 에틸벤젠은 1000 mg/kg으로 규제하고 있으며, 먹는물 관리기준으로는 스티렌의 경우 미국은 100 ng/mL의 기준을 설정하고 있으며 우리나라는 감시항목으로 지정하여 20 ng/mL의 기준을 적용하고 있다. 이번 실험에서는 용출시험에 한해 VOCs의 농도를 측정하였기에 폴리스티렌 용기의 재질기준을 적용하여 안전성 여부를 판단하기에는 어려움이 있으나 폴리스티렌 용기는 일상생활에서 컵라면처럼 고온에 노출되어 사용되어지며 이번 실험에서 최대 스티렌 용출농도가 186.27 ng/mL로 검출되었듯이 추후 폴리스티렌 용기에서 식품으로 용출되는 휘발성유기화합물에 대한 연구는 다양한 매질을 가진 개별식품으로의 용출량 및 식품섭취량 등을 고려하여 연구되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

21종류의 폴리스티렌 용기를 대상으로 용출조건에 따른 용기내 증류수로 용출되는 5종의 VOCs(톨루엔, 스티렌, 에

틸벤젠, 이소프로필벤젠 및 n-프로필벤젠)를 Purge&Trap 장치를 연결하여GC-FID로 분석하였다. 각 표준물질은 1~50 ng/mL의 농도범위에서 직선성(r^2 =0.9976~0.9995)을 나타냈으며, 검출한계는 0.041~0.092 ng/mL, 정량한계는 0.135~0.304 ng/mL 이었다. 용출조건은 첫째, 60ºC에서 30분, 둘째, 95ºC에서 30분, 셋째, 실생활에서 컵라면 섭취시를 고려하여 끓은 물을 부은 후 뚜껑을 덮고 3분간 유지한 다음 뚜껑을 열고 5분 동안 개방하여 용출시키는 것으로 설정하였다. 톨루엔, 에틸벤젠, 이소프로필벤젠 및 n-프로필벤젠은 평균용출량이 모든 조건에서 5 ng/mL 이하로 검출되었으며 스티렌의 경우는 60ºC에서 평균용출량이 4.02 ng/mL, 95ºC에서는 52.71 ng/mL, 컵라면 섭취시의 조건에서는 17.23 ng/mL로 검출되었다.

참고문헌

1. 김재원: 사출금형 설계자를 위한 플라스틱 재료, 구민사. pp. 333.
2. Sung, J. H., Kwon, K. S. and Lee, K. H. : A method for analysis of styrene dimer and trimer in foods and containers. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **32**, 1234-1243 (2000).
3. Lee, K. H., Jang, Y. M., Kwak, I. S., Yoo, S. S., Kim, K. M., Choi, B. H. and Lee, C. W. : Analysis of styrene dimer and trimer in cup noodle containers. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **31**, 931-937 (1997).
4. Lee, D. S., Song, B. S., Choi, J. O. and Park, W. P. : Migration of low molecular weight substances from expanded polystyrene cup to aqueous food simulant. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **33**, 1056-1062 (2004).
5. Till, D. E., Ehntholt, D. J., Reid, R. C., Schwartz, P. S., Schwope, A. D., Sidman, K. R. and Whelan, R. H. : Migration of styrene monomer from crystal polystyrene to foods and food simulating liquids. *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **21**, 161-168 (1982).
6. Durst, G.L. and Laperle, E. A. : Styrene monomer migation as monitored by purge and trap gas chromatography and sensory analysis for polystyrene containers. *J. Food Sci.*, **55**, 522-524 (1990).
7. Lickly, T. D., Lehr, K. M. and Welsh, G. C. : Migration of styrene from polystyrene foam food-contact articles. *Fd. Chem. Toxic*., **33**, 475-481 (1995).
8. Philo, M. R., Fordham, P. J., Damant, A. P. and Castle, L. : Measurement of styrene oxide in polystyrenes, estimation of migration to foods, and reaction kinetics and products in food simulants. *Fd. Chem. Toxic.*, **35**, 821-826 (1997).
9. Varner, S. L. and Breder, C. V. : Headspace sampling and gas chromatographic determination of styrene migration from food-contact polystyrene cups into beverages and food simulants. *J. Assoc. Offic. Anal. Chem.*, **64**, 1122-1130 (1981).
10. Murphy, P. G., Macdonald, D. A. and Lickly, T. D. : Styrene migration from general-purpose and high-impact polystyrene into food-simulating solvents. *Fd. Chem. Toxic.*, **30**, 225-232 (1992).
11. Park, S. Y., Kim, K. H., Yang, H. S. Ha, J. Y., Lee, K. H. and Ahn, J. W. : Determination of VOC in aqueous samples by the combination of headspace (HS) and solid-phase microextraction(SPME). *Anal. Sci. Tech.*, **21**, 93-101 (2008).
12. Kim, K. K., Shin, S. K, and Ju, D. W. : Determination of volatile organic compounds in waste using HS/GC/MS analysis. *Anal. Sci. Tech.*, **13**, 72-80 (2000).
13. Shin, H. S. and Ahn, H. S. : The study on the measurement of volatile organic compounds in the air of A and B industrial area. *Anal. Sci. Tech.*, **17**, 130-144 (2004).
14. Ahn, J. W. and Kim, K. H. : Calibration characteristics of VOCs by a gas chromatography with mass spectrometry (GC-MS) in relation to injection approaches. *J. Korean Soc. Environ. Anal.*, **12**, 13-24 (2009).
15. Jung, S. W., Yang, W. H. and Son, B. S. : Hea1th risk assessment by potential exposure of NO_2 and VOCs in apartments. *Kor. J. Env. Hlth.*, **33**, 242-249 (2007).
16. Sarma, S. N., Kim, Y. J. and Ryu, J. C. : Gene expression profiles of human promyelocytic leukemia cell lines exposed to volatile organic compounds. *Toxicology*, **271**, 122-123 (2010).
17. 식품의약품안전청 : 식품공전 (2009).
18. Lickly, T. D., Breder, C. V. and Rainey, M. L. : A model for estimating the daily dietary intake of a substance from food-contact articles;Styrene from polystyrene food-contact polymers. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* **21**, 406-417 (1995).