

Comparison of sample storage containers for the analysis of volatile organic compounds (VOC)

Seokyoung Kim¹ and Dalho Kim^{1, *}

Gas Metrology Group, Division of Chemical and Biological Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340, Korea

(Received January 18, 2022; Revised March 16, 2022; Accepted March 27, 2022)

휘발성유기물(VOC) 분석을 위한 시료보관 용기의 비교

김서경 · 김달호 ★

한국표준과학연구원 가스분석표준그룹

(2022. 1. 18. 접수, 2022. 3. 16. 수정, 2022. 3. 27. 승인)

Abstract: Polymer bags, metallic canisters, and glass bottles have been used as containers for analyzing the volatile organic compounds (VOCs) in air. In this study, various sampling containers were compared to investigate the short-term stability of VOCs, that is, from the time they are sampled to the time they are analyzed. Polyvinyl fluoride (PVF), polypropylene (PP), polyester aluminum (PE-Al) bags, canisters, and glass bottles were used as sample containers. A 100 nmol/mol standard gas mixture of benzene, toluene, ethylbenzene, m-xylene, styrene, and o-xylene was used for the VOC comparison. Changes in the concentrations of samples stored for 10~20 day in each container were measured using a thermal desorption-gas chromatograph-flame ionization detector (TD-GC-FID). As a result, VOCs stored in a canister and two kinds of amber glass bottles have shown immaterial decreases in concentration in one week, and more than 80 % of the initial concentration was maintained for two weeks. In the case of polymer bags, the concentration of all VOCs, except benzene and toluene, were remarkably decreased below 70% of the initial concentration in one day. Particularly, ethylbenzene, xylene, and styrene have shown dramatic decreases in concentration below 30 % of the initial concentration in all polymer bags in one day.

요 약: 대기 중 휘발성유기물(VOC) 분석을 위해 가스시료 채취 용기로서 고분자 재질의 유연한 백(bag)이나 금속재질의 캐니스터 또는 유리병 등을 사용하고 있다. 본 연구에서는 가스시료 용기에 시료 채취 후 분석 시까지 단기 보관에 따른 휘발성시료의 농도 안정성을 다양한 용기에 대해 비교하였다. 시료용기로 폴리비닐플로라이드(polyvinyl fluoride, PVF), 폴리프로필렌(polypropylene, PP), 폴리에스터-알루미늄(polyester aluminum, PE-Al) 재질의 폴리머백과 스테인레스 재질의 캐니스터 그리고 2종의 갈색유리병을 사용하였으며 VOC 시료로 100 nmol/mol의 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스타이렌 표준가스를 사용

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)42-868-5356 Fax : +82-(0)42-868-5042

E-mail : dhkim@kriss.re.kr

This is an open access article 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.

하였다. 열탈착-가스크로마토그래프-불꽃이온화검출기(TD-GC-FID)를 사용하여 용기 종류별로 10~20일 동안 보관된 시료의 농도변화를 측정하였다. 캐니스터와 갈색병은 1주일 동안 큰 농도의 변화가 없었으며 2주까지도 처음 농도의 80% 이상 농도를 유지하였다. 폴리머재질의 모든 백(bag)형 용기의 경우는 벤젠과 톨루엔을 제외한 모든 성분이 1일 후에 처음 농도의 70% 미만으로 큰 농도 변화를 보였다. 특히 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌의 경우 처음 농도의 30% 미만이 남아 매우 큰 농도 변화를 보였다.

Key words: volatile organic compound (VOC), storage stability, sampling container, polymer bag, glass bottle, canister

1. 서 론

휘발성 유기물질(VOC)은 대기 또는 실내공기의 오염물질로 잘 알려져 있으며 제품의 제조 공정, 자동차 배기가스, 제품에 잔류된 성분의 휘발, 자연발생 등 다양한 경로로 발생하여 환경을 오염시키고 있다. 대표적인 VOC는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등이 있으며 매우 다양한 VOC류가 존재한다. VOC 분석을 위해 다양한 시료채취 방법이 사용되고 있다. 흡착제가 충전된 흡착관을 사용하는 방법과¹⁻³ 캐니스터나⁴⁻⁶ 고분자 재질의 백에⁷⁻¹⁰ 일정 부피를 채취하는 방법이 일반적이고 그 외 액상 매질에 대상 성분을 흡수하는 임핀저를 이용하기도 한다.¹¹ 흡착관을 사용하는 방식은 부피가 작아 분석을 위한 시료의 이동 및 관리가 용이한 반면 채취한 시료로 1회 분석만 가능하며 분석의 재현성이 낮고 재사용 시 오염 및 흡착제의 변화로 인한 흡탈착 특성 변화를 고려해야 한다. 시료용기를 사용한 채취 방법은 시료의 부피가 크고 용기표면에 의한 시료의 흡착 등의 단점이 있지만 채취한 시료를 반복 분석할 수 있고 흡착관 방식의 단점을 보완할 수 있다. 시료 용기로 실린더나 캐니스터를 사용하면 시료의 안정성이 높은 장점이 있으나 많은 수의 시료 채취 시 비경제적이며 용기가 무겁고 채취 전 용기의 세척 등 준비가 필요하므로 사용상 불편한 점이 있다. 유리병을¹² 사용하여 채취하는 경우 실린더나 캐니스터보다 경제적이지만 용기의 세척 등 세심한 주의가 필요하다. 고분자 재질의 백을 사용하는 방법은 실린더와 캐니스터와 비교하여 시료의 안정성이 떨어지는 단점이 있지만, 경제적이고 간편하여 흡착관 채취방식과 더불어 일반적으로 많이 사용하는 방법이며 재질에 따라 폴리비닐플로라이드(polyvinyl fluoride, PVF), 폴리프로필렌(polypropylene, PP), 폴리에스터-알루미늄(polyester aluminum, PE-Al) 등이 사용되고 있다.⁷⁻¹⁰

그동안 용기를 사용하여 VOC 채취 시 고분자 백, 캐니스터, 유리병 등을 사용한 시료채취와 안정성에 관한 다양한 결과가 보고되었으나 동일한 조건에서 다양한 용기에 대한 시료의 안정성을 비교한 결과는 찾아보기 어려웠다.¹¹

본 연구에서는 용기를 사용한 VOC 채취 및 보관과정에서 다양한 용기에 대해 벤젠 등 잘 알려진 VOC의 안정성을 비교하였다. 본 연구 결과는 시료 측정 목적에 맞는 적절한 용기선택에 유용한 기초자료를 제공할 수 있다.

2. 실험

2.1. 실험재료

시료 가스를 채취하고 보관하는 용기로 Entech사의 캐니스터(Silonite 1 L Minican, 29-MC1LVG, 2207 Agate Court Simi Valley, CA 93065, USA)와 두 종류의 갈색 유리병, Bottle-Vac 1 L(29-BVL1A), Deactivated Bottle-Vac 1 L(39-75L1AD, 2207 Agate Court Simi Valley, CA 93065, USA)을 사용하였다(Fig. 1). 고분자 재질의 백형 용기로는 폴리비닐 플로라이드(polyvinyl fluoride, PVF) 재질의 Supelco사의 Tedlar Bag(Push Lock Valve, 5 L, Supelco, 595 North Harrison Road Bellefonte, PA, USA)



Fig. 1. Gas sample containers used for testing storage stability of the VOCs (from left, Silonite canister, bottle, polymer bags).

와 폴리프로필렌 (polypropylene, PP) 재질의 SKC사의 FlexFoil Plus Sample Bag (1 L, SKC, Valley View Road Eighty Four, PA, USA) 그리고 폴리에스터-알루미늄(polyester aluminum, PE-Al) 재질의 Top-Trading사의 Polyester Aluminum Bag (5 L, Top Trading ENG, Gwangnaru-ro 6-gil, Seongdong-ku, Seoul, Korea)을 사용하였다.

2.2. 표준물질

VOC 분석을 위한 시료보관 용기의 비교 실험을 위해 한국표준과학연구원에서 제조한 질소 바탕의 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, o-자일렌, 스티렌, m-자일렌 혼합표준물질(100 nmol/mol)를 사용하였다. 표준가스는 고순도의 각 성분 용액과 질소 원료가스의 중량을 측정한다음 가스 실린더에 혼합하여 제조하였다. 표준가스 제조에 사용된 가스 실린더는 내면에 연마처리된 Luxfer 사 (Kansas Ave., Riverside, CA 92507, USA)의 10 L 알루미늄 용기를 사용하였다. 알루미늄 용기의 내부는 표준가스를 제조하기 전에 가열 테이프를 이용하여 2일 동안 60°C로 가열하고 1×10^{-6} torr 수준의 진공 상태를 유지함으로써 내부 표면의 수분 등의 흡착물을 제거 하였다. 가스 실린더에 VOC 성분을 주입하기 위하여 가스용 실린지(syringe)를 사용하여 용액을 취한 후 화학저울로 측정하고, 진공으로 처리된 표준가스 제조용기에 주입한 다음, 다시 질량을 측정하여 주입된 용액만의 순수 질량을 계산하였다. 제조한 표준가스는 가스실린더 회전기(rolling mixer)를 사용하여 가스를 균질화 하였다.

2.3. 실험방법 및 기기

표준가스 시료를 준비한 각각의 용기에 옮겨 담은 후 빛이 없는 상자에 넣어 실온에 보관하면서 주기적으로 농도의 변화를 측정하였다. 시료를 넣기 전 캐니스터는 진공펌프를 사용하여 압력계이지 눈금 -30 psi 까지 공기를 제거한 후 고순도 질소를 30 psi 까지 채워 60°C로 가열하고 다시 진공펌프를 사용해 채워진 질소를 배출하는 과정을 3회 반복하여 캐니스터 내면을 깨끗이 하였다. 유리병은 압력계이지 눈금 8 psi를 기준으로 캐니스터와 같은 방법으로 병 내부를 깨끗이 한 후 사용하였다. 폴리머백은 가열없이 고순도 질소를 채우고 비우는 과정을 3회 반복한 후 사용하였다. 실린더에 제조한 표준가스는 장기간 안정함이 입증된 인증표준물질이므로 시료를 측정할 때마다 동일 조건에서 표준물질을 같이 측정하여 기기를 교정하였

다. 시료가스는 Entech사의 7200 Preconcentrator (Entech Instruments, Simi Valley, CA, USA)를 사용하여 농축한 후 열탈착하여 온라인으로 연결된 GC-FID (MS) (Agilent Technologies Inc., USA)를 사용하여 분석하였다. 시료가스의 정성분석 및 정량 분석을 위해 열탈착-가스크로마토그래프-질량분석기(TD-GC-MS)모드와 열탈착-가스크로마토그래프-불꽃이온화검출기(TD-GC-FID)모드를 각각 사용하였다. 시료를 농축한 후 탈착하여 GC에 주입하기 위해 Tenax TA와 글래스비드(glass bead)가 1:1로 섞인 트랩을 사용하였다. 가스시료 50 mL를 Entech Preconcentrator에 주입하였으며 농축모듈1의 온도를 -10 °C로 하여 수분을 제거하고 농축모듈2의 온도 -60 °C조건에서 흡착체에 농축시켰다. 농축시킨 VOC는 -175 °C로 유지되는 Focusing trap에 모아 80 °C에서 순간 탈착하여 GC에 자동 도입하였다. GC에서 VOC 성분 분리를 위해 DB-5MS column (60 m × 0.32 mm I.D. × 1 μm thickness)을 분리관으로 사용 하였다. 운반기체는 헬륨을 사용하였으며 유속은 1.5 mL/min로 유지하였다. GC 오븐의 온도는 35 °C를 5분 유지 후 100 °C까지 10 °C/min으로 승온 후 5분 유지 하고 다시 200 °C까지 10 °C/min으로 승온하여 10분간 유지하는 프로그램 조건을 사용하였다. 실험에 따라 MS 또는 250 °C로 유지되는 불꽃이온화검출기를 사용하여 성분을 검출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시료용기 및 고순도 질소 바탕시험(blank test)

분석 시 방해물질의 영향을 줄이기 위해 시료 채취 용기는 시료 채취전 고순도 질소가스와 열을 이용해 세척후 사용해야 한다. 실린더나 캐니스터를 용기로 사용할 경우 세척 과정을 거치면 방해물질이 대부분 제거되나 폴리머 재질의 백을 사용하면 방해물질의 영향을 완전히 제거하기는 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 용기별 VOC 시료의 저장 안정성을 고려하기 전 “실험방법 및 기기”에 기술한 방법으로 용기를 깨끗이 한 후 고순도 질소 가스를 넣어 TD-GC/FID법으로 불순물여부를 평가하였다(Fig. 2) 그 결과 캐니스터와 갈색 병은 저장한 고순도 질소를 분석했을 때 불순물 피크가 검출되지 않았다. 반면, 폴리머 백의 경우는 앞에 기술한 방법으로 세척하고 고순도 가스를 채웠음에도 다양한 불순물 피크가 검출되었다. 이런 결과는 폴리머 재질에서 미량의 휘발성물질이 스며 나오기 때문인 것으로 추측된다. 폴리머 백의 재

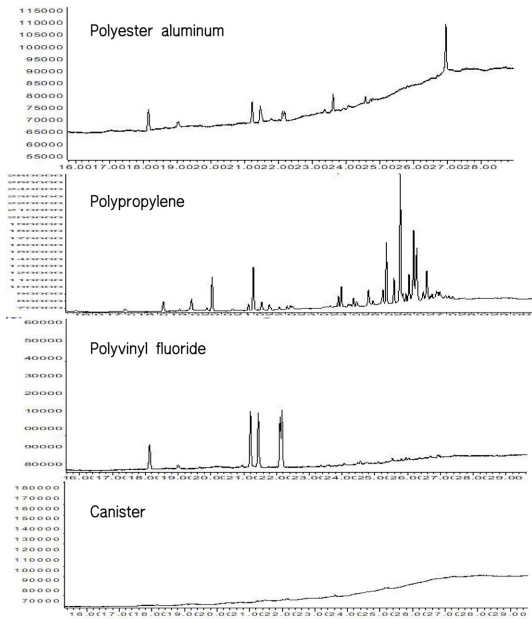


Fig. 2. GC/FID chromatogram of pure nitrogen stored 2 hours and background gas impurities detected.

질 별로 검출된 불순물 피크 패턴은 달랐으며 폴리프로필렌백이 가장 많은 불순물 피크를 보이고 농도도 높은 것을 알 수 있다. 검출된 불순물 피크들이 본 실험에서 측정하고자 하는 대상 성분에는 방해 물질로 작용하지 않거나 영향이 미미했으므로 분석결과 산출에 고려하지 않았으나 본 결과는 다른 가스시료 분석 전 바탕 시험을 통해 용기의 적합성을 평가하는 데 참고할 수 있다.

3.2. 시료분석

실린더에 제조한 표준가스를 사용하여 VOC 성분의 정성 및 정량을 최적화하고 각 시료 용기에 고순도 질소와 표준가스 시료를 담아 보관할 때 불순물의 영향 여부를 평가하였다. Fig. 3에 시료 농축 후 TD-GC-FID를 사용하여 표준가스를 분리한 결과를 나타냈다. 6가지 분석대상 성분 중 스티렌과 o-자일렌은 약 40% 중첩되어 완전 분리는 어려웠지만 다른 성분들은 완전히 분리되었다. 스티렌과 o-자일렌은 중첩되어 분리되지만, TD-GC-FID 3회 측정의 반복성은 약 0.4%로 실험에 영향을 주지 않음을 확인하였다. 그림 3에 벤젠의 검색된 질량스펙트럼을 예시한 바와 같이 GC/MS 스캔모드를 통해 표준가스분석 시 분리된 각 피크를 정성하였다. 또한 용기별로 고순도질소 바탕시

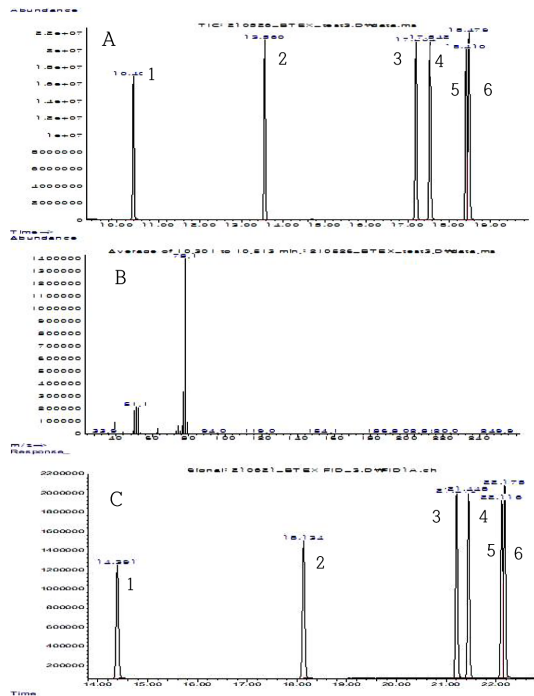


Fig. 3. GC/MS total ion chromatogram (A), GC/MS spectrum of benzene (B), and GC/FID chromatogram (C) of VOC sample mixtures (1:benzene, 2:toluene, 3: ethylbenzene, 4: m-xylene, 5: styrene, 6: o-xylene)

험을 통해 검출된 주요 피크들을 질량스펙트럼 데이터베이스로 확인한 결과 벤젠 등 분석하고자 하는 대상성분이 아님을 확인하였으며 대상 성분과 비슷한 머무름 시간에 분리되는 불순물 피크들도 분석 결과에 큰 영향을 주지 않음을 확인하였다. TD-GC-MS와 TD-GC-FID 분리 시 같은 조건을 사용하였으나 TD-GC-MS의 경우 질량분석기의 진공에 의한 흡입의 영향으로 TD-GC-FID에 비해 각 성분의 머무름시간이 약간 줄어든 것 외에 큰 차이는 없었다. 각 용기별 VOC의 안정도 모니터링을 위한 측정을 위해 TD-GC-MS보다 반복성이 더 좋은 TD-GC-FID법을 사용하였다. TD-GC-FID의 반복성 및 재현성을 고려한 100 nmol/mol VOC 분석의 확장불확도는 약 5 nmol/mol로 평가하였다.

3.3. 시료의 농도 안정성 평가

가스시료를 각 용기에 채취 후 분석 시까지 단기 보관에 따른 VOC의 안정성을 다양한 용기에 대해 비교하였다. 시료 용기로 폴리비닐플로라이드(polyvinyl fluoride (PVF)), 폴리프로필렌(polypropylene, PP), 폴

Table 1. Result of stability study of VOCs stored in various gas sample containers (mole fraction measured by TD-GC-FID).

Compound	Initial conc. (nmol/mol)	Bottle (Deactivated)		Bottle		Canister		Polyester Aluminum		Polypropylene		Polyvinyl floride	
		Day	Conc. (nmol/mol)	Day	Conc. (nmol/mol)	Day	Conc. (nmol/mol)	Day	Conc. (nmol/mol)	Day	Conc. (nmol/mol)	Day	Conc. (nmol/mol)
Benzene	108	0	108	0	108	0	108	0	108	0	108	0	108
		1	108	1	108	1	107	1	96	1	61	1	100
		2	108	2	108	2	107	2	83	2	48	2	91
		6	106	4	107	6	105	3	80	3	46	3	87
		13	91	7	107	13	102	4	80	6	37	4	87
		17	86	9	106	20	83	5	78	7	22	5	86
		20	71	11	107			8	72	8	23	8	83
				13	100			16	60	9	18		
								10	19				
Toluene	107	0	107	0	107	0	107	0	107	0	107	0	107
		1	107	1	107	1	106	1	78	1	46	1	88
		2	107	2	108	2	106	2	53	2	30	2	67
		6	105	4	106	6	105	3	51	3	28	3	63
		13	90	7	105	13	101	4	50	6	24	4	61
		17	86	9	103	20	83	5	50	7	16	5	63
		20	71	11	102			8	44	8	17	8	57
				13	99			16	40	9	14		
								10	14				
Ethylbenzene	107	0	107	0	107	0	107	0	107	0	107	0	107
		1	107	1	107	1	106	1	61	1	28	1	69
		2	106	2	108	2	106	2	26	2	16	2	38
		6	104	4	104	6	104	3	24	3	14	3	34
		13	89	7	104	13	101	4	23	6	11	4	33
		17	85	9	102	20	83	5	24	7	8	5	36
		20	70	11	99			8	21	8	8	8	27
				13	95			16	21	9	7		
								10	7				
m-xylene	105	0	105	0	105	0	105	0	105	0	105	0	105
		1	105	1	107	1	105	1	58	1	24	1	65
		2	105	2	105	2	104	2	22	2	13	2	33
		6	103	4	104	6	103	3	20	3	11	3	29
		13	88	7	104	13	99	4	19	6	9	4	28
		17	83	9	102	20	82	5	20	7	7	5	31
		20	69	11	99			8	17	8	6	8	23
				13	96			16	18	9	5		
								10	5				
Styrene	107	0	107	0	107	0	107	0	107	0	107	0	107
		1	107	1	107	1	105	1	53	1	15	1	49
		2	106	2	109	2	104	2	12	2	10	2	15
		6	103	4	107	6	102	3	9	3	7	3	12
		13	89	7	105	13	99	4	9	6	6	4	12
		17	84	9	103	20	83	5	10	7	2	5	14
		20	70	11	101			8	7	8	0	8	8
				13	98			16	7	9	0		
								10	0				

Table 1. Continued

Compound	Initial conc. (nmol/mol)	Bottle (Deactivated)		Bottle		Canister		Polyester Aluminum		Polypropylene		Polyvinyl floride		
		Day	Conc. (nmol/mol)	Day	Conc. (nmol/mol)	Day	Conc. (nmol/mol)	Day	Conc. (nmol/mol)	Day	Conc. (nmol/mol)	Day	Conc. (nmol/mol)	
o-xylene	108	0	108	0	108	0	108	0	108	0	108	0	108	
		1	108	1	108	1	109	1	57	1	21	1	62	
		2	107	2	108	2	109	2	18	2	11	2	28	
		6	105	4	107	6	107	3	16	3	8	3	24	
		13	90	7	106	13	103	4	15	6	7	4	25	
		17	85	9	104	20	84	5	17	7	0	5	27	
		20	71	11	102			8	14	8	0	8	18	
				13					16	15	9	0		
											10	0		

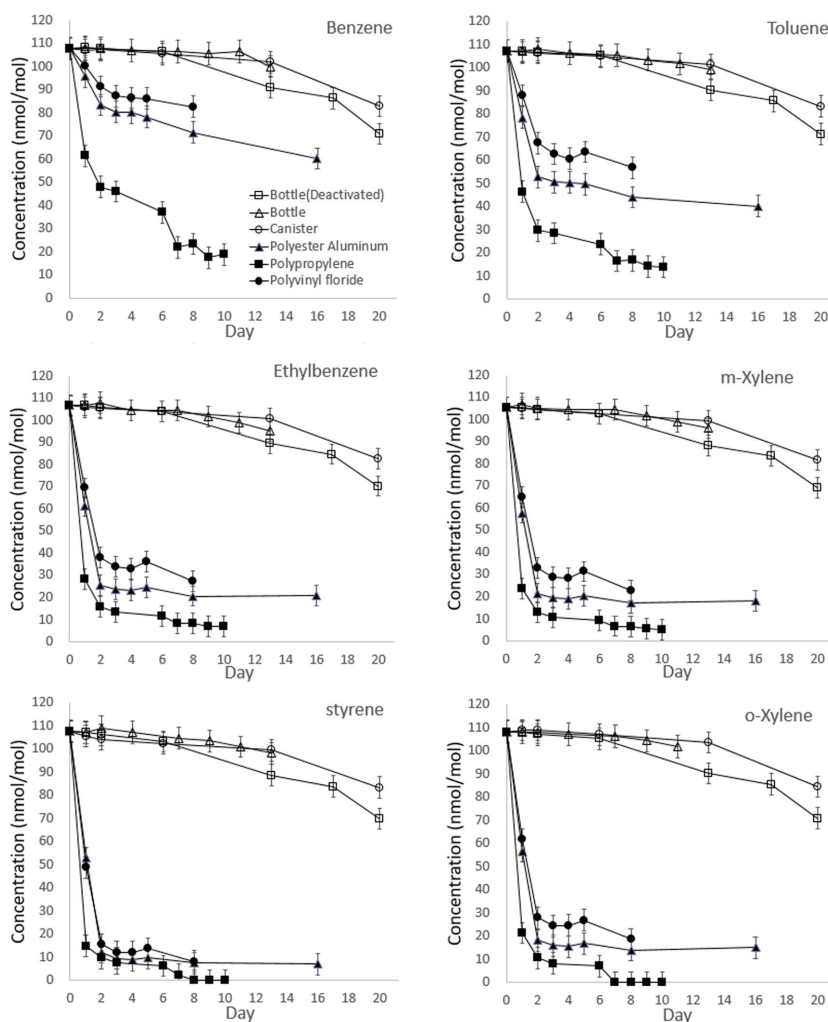


Fig. 4. Stability of VOCs stored in various gas sample containers monitored using TD-GC-FID.

리에스터-알루미늄(polyester aluminum, PE-Al) 재질의 폴리머백과 스테인레스 재질의 캐니스터 그리고 갈색 유리병을 사용하였으며 VOC 시료로 100 nmol/mol의 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스타이렌 표준가스를 사용하였다. TD-GC-FID를 사용하여 용기 종류별로 10~20일 동안 보관된 시료의 농도변화를 측정하였다.

Table 1에 시료로 사용한 표준가스 성분의 농도와 6종의 시료 용기에 담아 같은 조건에서 농도 변화를 측정할 결과를 나타내었다. Fig. 4에는 분석대상 성분별로 각 보관 용기에서 시간 경과에 따른 성분의 농도 변화를 그래프로 표시하였다.

갈색 병은 내면을 비활성화한 것(실험2.1, Deactivated Bottle-Vac, 39-75L1AD)과 하지 않은 것(Bottle-Vac, 29-BVL1A)으로 구분하여 비교하였다. 갈색병의 경우 내면이 처리된 캐니스터에 비해 성분들의 저장 안정성이 떨어질 것으로 예상했으나 캐니스터와 두 종류의 갈색 병은 1주일 동안 큰 농도의 변화가 없었으며 2주까지도 처음 농도의 80% 이상을 유지하였다. 폴리머 재질의 모든 백(bag)형 용기의 경우는 벤젠과 톨루엔을 제외한 모든 성분이 1일 후에 처음 농도보다 30% 이상 큰 농도 변화를 보였으며 특히 에틸벤젠, 자일렌, 스타이렌의 경우는 처음 농도보다 70% 이상 매우 크게 농도가 줄었다. 폴리머 백의 경우 시료 성분의 안정도에 영향을 주는 다양한 요인이 있으며 물질의 물리 화학적 흡착 및 반응 특성, 백의 부피, 백의 재질, 백의 벽을 통한 가스 성분의 투과 등이 있다. 대상 성분별로 큰 농도 변화 특성이 나타나는 것을 볼 때 물리 화학적 흡착 및 반응 특성이 불안정한 주요 원인으로 추정된다.

4. 결 론

본 연구에서는 가스 시료 용기에 시료 채취 후 분석 시까지 단기 보관에 따른 VOC의 안정성을 다양한 용기에 대해 비교하였다. 시료 용기로 폴리비닐플로라이드(PVF) 폴리프로필렌(PP), 폴리에스터-알루미늄(PE-Al) 재질의 폴리머백과 스테인리스 재질의 캐니스터 그리고 2종의 갈색 유리병을 사용하였으며 VOC 시료로 100 nmol/mol의 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스타이렌 표준가스를 사용하였다. 열탈착-가스크로마토그래프-불꽃이온화검출기(TD-GC-FID)를 사용하여 용기 종류별로 10~20일 동안 보관된 시료의 농도 변화를 측정하였다.

그 결과 캐니스터와 갈색 병은 1주일 동안 큰 농도

의 변화가 없었으며 2주까지도 처음 농도의 80% 이상 농도를 유지하였다. 폴리머 재질의 모든 백형 용기의 경우 벤젠과 톨루엔을 제외한 모든 성분이 1일 후에 처음 농도의 70% 미만으로 큰 농도 변화를 보였으며 특히 에틸벤젠 자일렌 스타이렌의 경우 30% 미만으로 매우 큰 농도 변화를 보였다.

본 연구 결과를 볼 때 예상한 바와 같이 캐니스터는 다른 용기에 비해 상대적으로 안정하게 VOC류를 저장할 수 있음을 확인하였고 본 실험에 사용한 유리병도 캐니스터에 버금가는 안정성을 보임을 확인하였다. 폴리머 백의 경우는 폴리비닐 플로라이드(PVF)와 폴리에스터 알루미늄(PE-Al) 백이 상대적으로 좀 더 안정성을 보이고 바탕 방해물질의 영향도 작았다. 폴리머 백을 사용해 VOC시료 채취 시 분석성분의 특성을 고려해 백의 재질을 선택할 필요가 있으며 가능한 지체없이 분석하고 실험 목적에 따라 안정성을 추정하여 결과를 보정할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 한국표준과학연구원의 [화학·방사선 측정 표준확립(GP2021-0003)] 사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. J. H. Ahn, *J. Korean Soc. Odor. Res. Eng.*, **12(4)**, 157-167 (2013).
2. F. A. Franchina, D. Zanella, T. Dejong and J.-F. Focant, *Talanta*, **222**, 1-9 (2021).
3. K.-H Kim, S.-I. Oh and Y.-J. Choi, *Talanta*, **64**, 518-527 (2004).
4. S. A. Batterman, G.-Z. Zhang and M. Baumann, *Atmospheric Environment*, **32(10)**, 1647-1655 (1998).
5. T. J. Kelly and M. W. Holdren, *Atmospheric Environment*, **29(19)**, 2595-2608 (1995).
6. "Storage Stability of 66 Volatile Organic Compounds (VOCs) in Silicon-Lined Air Canisters for 30 Days", Restek Environmental Applications, USA, www.restek.com.
7. Y.-H. Kim, K.-H. Kim, S.-H. Jo, E.-C. Jeona, J. R. Sohn and D. B. Parker, *Analytica Chimica Acta*, **712**, 162-167 (2012).
8. Q. Li, Fu Xiaolan, K. Xu, H. He and N. Jiang, *Micro-*

- chemical Journal*, **160**, 1-8 (2021).
9. J.-H. Ahn, A. Deep and K.-H. Kim, *Atmospheric Environment*, **141**, 430-434 (2016).
10. Y. Wang, T. S. Raihala, A. P. Jackman and R. ST. John, *Environ. Sci. Technol.*, **30**, 3115-3117 (1996).
11. K. Arrhenius, A. S. Brown and A. M. H. van der Veen, *Analytica Chimica Acta*, **902**, 22-32 (2016).
12. B. P. Chandra, V. Sinha, H. Hakkim and B. Sinha, *International Journal of Mass Spectrometry*, **419**, 11-19 (2017).

Authors' Postion

Seokyung Kim : Researcher
Dalho Kim : Principal researcher

Vol. 35, No. 3, 2022