

마이크로 챔버와 20 L static chamber를 이용한 도어트림 암레스트로부터 방출되는 휘발성 유기화합물 평가

이익희 · 유지호 · 김만구★

강원대학교 환경학과

(2011. 5. 30. 접수, 2011. 8. 12. 승인)

Evaluation of volatile organic compounds emitted from door-trim armrest using micro chamber and 20 L static chamber

Ik Hee Lee, Ji-Ho Yoo and Man-Goo Kim★

*Department of Environmental Science, Kangwon National University, 193-1, Hyoja-dong,
Chunchon-shi, Kangwon-do 200-701, Korea*

(Received May 30, 2011; Accepted August 12, 2011)

요 약: 현재 자동차 실내공기질을 평가하는 방법이 ISO, 중국, 일본에서 개발 중에 있으며, 우리나라에서도 관리기준이 2010년 7월 1일 이후 생산한 신규제작자동차부터 적용되고 있다. 자동차 실내공기질을 관리하기 위해서는 자동차 실내의 내장부품으로부터 방출되는 휘발성 유기화합물을 평가하는 것이 중요하다. 이 연구에서는 모듈단위부품인 도어트림 모듈의 구성부품인 도어트림 암레스트를 ISO 12219-5방법에 따라 완제품을 평가 하였으며, ISO 12219-3방법으로 절단부품과 도어트림 구성소재를 평가하였다. Tenax TA가 충전된 스테인리스 튜브를 이용하여 VOC를 채취하여 TD-GC/MS를 이용하여 분석하였다. 두 시험방법을 비교한 결과 도어트림 암레스트로부터 방출되는 물질의 비율이 차이가 있음을 확인하였고, 도어트림 암레스트의 소재를 평가한 결과 PP substrate과 adhesive가 도어트림 암레스트에서 주요 방출원인 소재로 나타났다.

Abstract: In present, evaluation method for car cabin air quality has been developed in ISO, China, Japan. Also The management standard for new produced car has been applied since 1, July, 2010. To manage car cabin air quality, It is important to evaluate VOC emitted from interior material. In this study, complete component of door trim armrest was evaluated in accordance with ISO 12219-5, cut component was evaluated in accordance with ISO 12219-3. The vapour gas was collected with stainless tube packed with Tenax TA and analyzed with TD-GC/MS. It was confirmed that emission rate of each compounds was difficult in each evaluation method. As a result, to evaluating each components composing door trim armrest, main sources of emitting VOCs in door trim armrest were PP substrate and adhesive.

Key words : door trim armrest, micro chamber, static chamber, car interior component, cabin air quality

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)33-250-8576 Fax : +82-(0)33-251-3991

E-mail : mgkim@kangwon.ac.kr

1. 서 론

현재 우리나라는 실내공기질에 VOC와 알데하이드가 미치는 영향에 대한 관심이 증가하고 있다. 차량의 실내 공기질에 대한 관심 역시 차량에서 보내는 시간이 증가하면서 깨끗하고 쾌적한 차량 실내 공기질에 대한 욕구는 점차 커지고 있다. 자동차 실내공기질은 내장부품으로부터 방출되는 휘발성 유기화합물이나 주변의 환경에 의해 영향을 받으며, 신규 차량에서는 내장부품으로부터 방출되는 휘발성 유기화합물의 농도가 상대적으로 높게 나타난다.^{1,3} 최근 신규자동차 실내공기질에 영향을 미치는 요인에 관한 연구 및 자동차 실내 내장부품으로부터 방출되는 휘발성유기화합물과 알데하이드를 측정하는 방법들이 보고되었다.^{4,5}

자동차 실내공기질을 평가하는 방법은 International Organization of Standard (ISO), 중국, 일본에서 개발되어 사용되고 있다.⁶ 우리나라의 국토해양부에서는 2009년 8월부터 “신규제작 자동차 실내공기질 관리기준”이 고시되었으며, 관리기준은 2010년 7월 1일 이후 생산한 신규제작자동차부터 적용되고 있다.

신규자동차의 실내공기질을 효율적으로 관리하기 위해서는 자동차의 실내의 모듈단위 부품에서 방출되는 휘발성 유기화합물을 평가하고, 모듈단위부품을 구성하는 각각의 구성부품으로부터 방출되는 VOC를 평가하여 원인이 되는 구성부품을 찾는 것이 효과적이다. 현재 ISO에서는 ISO 12219-4의 대형챔버를 이용한 모듈단위부품을 평가하며, 모듈부품을 이루는 구성부품은 ISO 12219-2,3방법으로 구성부품을 절단하여 평가하는 방법이 개발되고 있다. 그러나 구성부품 제조업체에서는 자사로부터 제조된 부품이 절단되지 않은 상태에서 평가 받기를 원한다. 부품을 절단할 경우 절단면의 노출, 내부소재의 노출, 절단되어 사라지는 부분에 의한 영향을 받게 되어 완제품을 평가하는 것과는 차이가 있다.⁷ 따라서 이 연구에서는 ISO에서 개발 중인 구성부품을 절단하지 않고 평가하는 ISO 12219-5방법에 따라 20 L static chamber 방법을 사용하여 구성부품인 도어트림 암레스트를 완제품의 형태로 평가 하고, ISO 12219-3방법에 따라 마이크로 챔버를 이용하여 도어트림 암레스트의 구성부품의 절단 부품을 평가한 후 두 방법 간의 방출패턴 차이를 알아보기 위해 도어트림 암레스트로부터 방출되는 개별 물질들을 비교해 보았다.⁸ 또한 도어트림 암레스트의 휘발성 유기화합물의 방출의 원인이 되는 구성부품을 찾기 위해 도어트림 암레스트를 구성하는 각각의

구성부품을 평가하고, TIC chromatogram에 비율을 반영하여 중첩시킨 결과 도어트림 암레스트의 절단부품 평가 결과를 재현하는 것이 가능하였다.

2. 실험 및 방법

2.1. 시료의 준비

시료로서 사용한 운전석 문에 위치해 있는 도어트림 암레스트는 준중형급 국산차량에 사용되는 부품으로 차량운행 시 운전자가 팔을 올려놓는 부분으로 다층 복합소재로 구성되어 있다. 이 시료는 도어트림 암레스트를 제조하는 업체로부터 제공받아 사용하였다. 시료를 마이크로 챔버에 장착하기 위해 직경 45 mm의 원형으로 절단하였다. 이를 위해 시료 위에 직경 45 mm의 원형편치를 놓고 받침대의 높이가 조절 가능한 유압 프레스를 이용하여 눌러 시료를 절단 하였다.

도어트림 암레스트는 TPO skin, PE foam, PP substrate, adhesive로 4가지 종류로 구성이 되어있으며, 구성 소재를 제조사로부터 제공받아 소재 별로 시험을 실시하였다. 고체 시료들은 45 mm 편치와 프레스를 사용하여 절단 하여 사용하였으며, adhesive의 경우 0.03 g을 알루미늄 호일 위에 도포한 후 24시간동안 건조 시킨 후 마이크로챔버에 장착 후 평가하였다.

2.2. Static chamber system

절단하지 않은 구성부품의 평가를 위해 20 L static chamber를 사용하였다. 이 챔버는 스테인리스 재질로 되어 있다. 20 L chamber에는 챔버의 가열로 인한 챔버 내부의 압력의 증가와 시료채취로 인한 챔버 내부의 압력의 감소를 방지하기 위해 5 L polyester bag (TDC, JAPAN)을 연결하였다. Polyester bag은 질소를 주입한 후 75 °C에서 1시간 동안 가열하여 3회 반복 세척하였다. 백을 챔버에 장착하기 전 시료 채취량을 계산하여 정제된 공기를 넣어주었다.

이 실험은 ISO 12219-5에 따라 수행하였으며, 평가하는 동안 20 L static chamber의 온도는 65 °C로 유지하였다. VOC의 채취는 시료를 장착한 후 2시간 이후부터 30분 간격으로 4회 채취 하였다. 시료의 채취는 Tenax-Ta가 충전된 1/4 인치 stainless tube(Markes, UK)를 사용하여 50 mL/min으로 5분간 250 mL의 시료를 채취하였다.

2.3. Micro chamber system

구성부품의 절단한 시료를 평가하기 위해 μ -chamber

(Markes, UK)를 사용하였다.⁹ μ -chamber는 스테인리스 스틸의 재질로 내경 45 mm인 원기둥이 형태인 챔버 6개로 구성 되어 있다. μ -chamber는 평가 전에 정제된 공기를 50 mL/min의 유량으로 흘려주며 120 °C로 한 시간 동안 가열하여 세척하였다. 시료를 장착하기 위해 직경이 45 mm인 원형 펀치를 사용하여 시료를 절단하여 사용하였다. 시험은 ISO 12219-3방법에 따라 65 °C에서 진행하였으며 공급공기는 단단계 필터를 거친 정제된 공기를 사용하여 50 mL/min의 유량으로 지속적으로 공급해 주었다. 시료를 장착한 후 20 분간 안정화를 거친 후 30분마다 Tenax TA가 충전된 스테인리스 튜브를 사용하여 VOC시료를 채취하였다. 채취량은 50 mL/min의 유량으로 5분간 채취하였다.

2.4 TD-GC/MS 분석

도어트림 암레스트로부터 방출되는 휘발성 유기화합물의 정성 및 정량 분석을 위해 Tenax Ta가 충전된 스테인리스 튜브(Markes, UK)에 시료를 채취하여 자동열탈착장치(Ultra 50:50, markes, UK)가 장착된 GC/MS (QP2010, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하였다. Chamber로 부터 시료를 채취한 흡착관은 열탈착장치에서 310 °C로 10분간 탈착한 후 저온농축장치로 농축·탈착하여 GC/MS로 분석하였다. TD-GC/MS의 분석조건은 Table 1에 나타내었다. 휘발성 유기화합물을 분리하기 위해 capillary column (ZB-1, 60 m × 0.25 mm

Table 1. TD-GC/MS analysis condition

Thermal Desorption	Unity2 (Markes, UK)
Column head pressure	20.6 psi
Dry purge	1 min
Tube Desorption	300 °C for 8 min
Trap Temp.	-10 °C
Trap Desorption	310 °C for 15 min
Gas Chromatograph	QP2010, (Shimadzu, Japan)
	temp 1: 40 °C
	ramp rate 1: 6 °C/min
Column Temp.	temp 2: 110 °C
	ramp rate 2: 10 °C/min
	temp rate 3: 270 °C for 10 min
Column	ZB-1ms (60 m×0.32 i.d.×0.25 film)
Mass Spectrometer	QP2010, (Shimadzu, Japan)
Ion source Temp.	200 °C
Interface Temp.	315 °C
Scan range	35-350 m/z
Detector voltage	1.18 kV

i.d., 0.25 μ m film thickness, phenomenex, US)를 사용하였고 헬륨을 이동상 가스로 사용하여 분석하였다. 오븐 온도의 조건은 40 °C부터 6 °C/min으로 110 °C까지 상승시켜준 뒤 10 °C/min으로 270 °C까지 상승시킨 후 10분간 머물게 되어 총 분석시간은 37분 정도가 소요된다. Ionization energy는 70 eV이고 mass range는 35-350 amu이다. 휘발성유기화합물의 정성을 위해 표준 library는 Willey7을 사용하였다. 각 물질의 정량으로 얻은 TIC에서 각 물질들의 면적을 toluene으로 작성한 검량선식을 이용하여 계산하였다. 검량선 용액은 17.34, 34.68, 86.7, 173.4 ng/mL의 농도인 톨루엔 표준 용액을 제조하여 사용하였으며, 각 농도별 용액 2 μ L를 고순도 질소를 100 mL/min의 유량으로 흘려주며 Tenax TA 흡착관에 흡착시켜 동일한 분석조건으로 TD-GC/MS로 분석하여 검량선을 작성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 도어트림 암레스트에서 방출되는 VOCs의 방출강도 변화

Fig. 1은 마이크로챔버에 장착된 도어트림 암레스트에서 방출되는 개별물질들의 농도를 톨루엔 등가로 계산하여 방출비율을 나타낸 그래프이다.

5분에서 15분 사이에 물질의 방출비율이 증가하는 것은 시료가 마이크로챔버에 장착된 후 상온의 시료 온도가 65 °C까지 올라 안정화 되는 동안 점차 방출비율이 증가하기 때문이다. 이후 마이크로 챔버에 장착된 도어트림 암레스트에서 방출되는 VOCs는 온도 안정화가 된 이후 시간이 지나면서 대부분 방출비율이 줄어드는 경향을 나타낸다. 마이크로챔버는 dynamic 방법이기 때문에 일정 유량이 꾸준히 흘러 챔버 내부가 환기되므로 시간이 지날수록 방출량이 점점 감소하다가 1시간뒤 대부분의 물질들이 방출 평형에 도달하는 것을 알 수 있다. 그러나 PP substrate에서 주로 방출되는 5-ethyl-2-methyl-octane, 5-[2-methylpropyl]-nonane, 3,7-dimethyl-decane은 시간이 지날수록 감소되지 않고 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 이 세 가지 물질이 다른 방출되는 물질과 다르게 지속적으로 방출되는 것은 air diffusion과 bulk diffusion의 차이에 의한 것으로 air diffusion되는 물질들은 초기에 방출된 후 dynamic 상태에서는 지속적으로 일정한 유량을 흘려주기 때문에 점차 감소하게 되고, bulk diffusion된 물질들은 서서히 방출되기 때문에 지속적으로 방출되면서 평형에 도달하지 않기 때문이다.

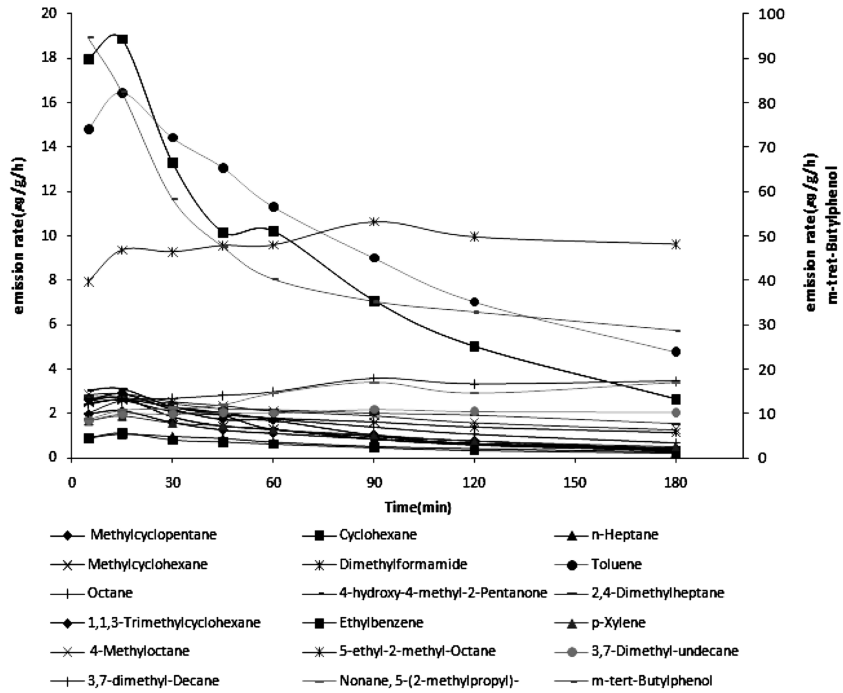


Fig. 1. Variation of compounds emitted from door-trim armrest equipped in micro chamber.

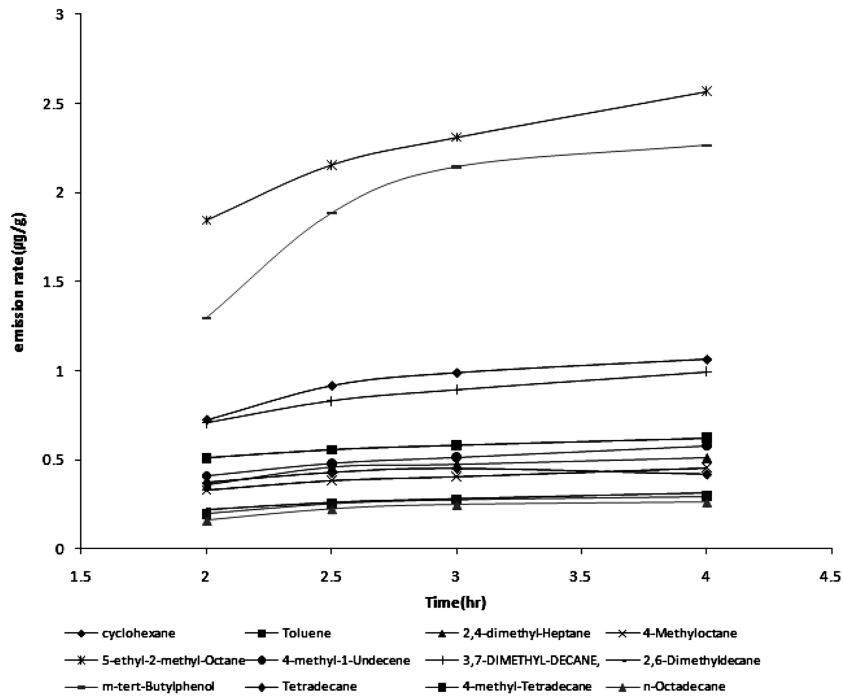


Fig. 2. Variation of compounds emitted from door-trim armrest in static chamber.

Fig. 2는 도어트림 암레스트에서 검출된 물질을 톨루엔 등가로 계산하여 방출비율을 확인해 보았다. 그 결과 개별물질들이 3시간 이후 방출평형이 이루어져 안정화 되는 것으로 나타났다. 높은 방출 비율을 가지는 m-tert-butylphenol의 경우 1.29 $\mu\text{g/g}$ 에서 2.26 $\mu\text{g/g}$

으로 1.75배 증가하였으며, 5-ethyl-2-methyl-Octane의 경우 1.84 $\mu\text{g/g}$ 에서 2.56 $\mu\text{g/g}$ 으로 1.39배 증가 하여 평형에 도달하였다.

20 L static chamber 의 경우 도어트림 암레스트로부터 방출되는 각각의 VOCs가 3시간 이후 방출 평형에

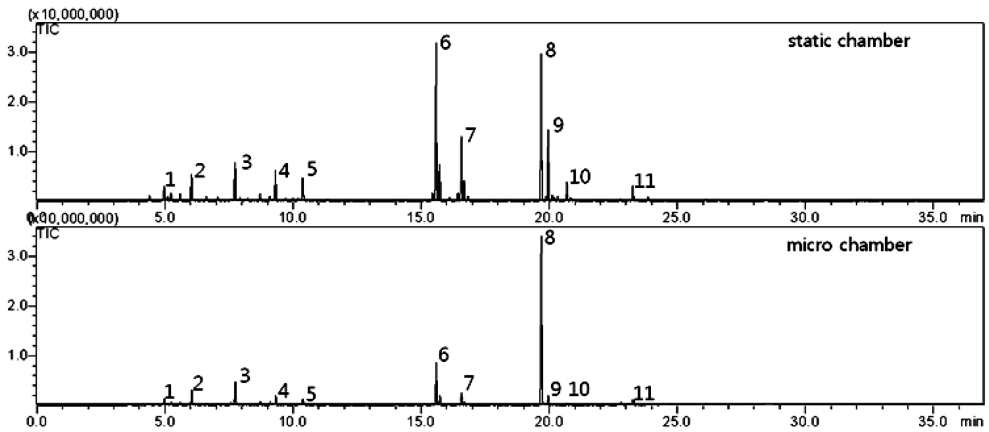


Fig. 3. Chromatogram of door-trim armrest equipped in static chamber and micro chamber.

Table 2. Emission rate of door trim armrest in micro scale chamber method

RT (min)	Compounds	Emission rate			
		Static chamber method		Micro chamber method	
		$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g/h}$	%
5.58	Methylcyclopentane	91.8	1.20	0.108	0.73
6.02	Cyclohexane	362.3	4.72	0.495	3.35
6.64	n-Heptane	53.9	0.70	0.073	0.49
7.08	Methylcyclohexane	57.8	0.75	0.073	0.49
7.56	Dimethylformamide	N.D.	-	0.241	1.63
7.75	Toluene	485.8	6.33	0.876	5.94
8.71	Octane	95.0	1.24	0.130	0.88
9.12	4-Hydroxy-4-methyl-2-pentanone	N.D.	-	0.234	1.59
9.33	2,4-Dimethylheptane	332.0	4.33	0.490	3.32
10.03	Ethylbenzene	N.D.	-	0.077	0.52
10.26	p-Xylene	N.D.	-	0.146	0.99
10.40	4-Methyloctane	297.4	3.88	0.307	2.08
10.87	1,2-Dimethylbenzene	22.2	0.29	0.046	0.31
11.36	Nonane	29.0	0.38	0.051	0.35
12.89	Phenol	N.D.	-	0.052	0.35
15.58	5-Ethyl-2-methyloctane	1744.8	22.74	0.337	2.28
15.72	4-Methyl-1-undecane	394.4	5.14	0.071	0.48
16.57	3,7-Dimethyldecane	662.4	8.63	1.186	8.04
19.72	m-tert-Butylphenol	1751.2	22.83	9.481	64.25
19.98	4-Methyltetradecane	829.7	10.81	0.208	1.41
20.70	2,6,11-Trimethyldodecane	225.9	2.94	0.074	0.50
23.32	n-Octadecane	236.6	3.08	N.D.	-
	Total	7,672.2	100	14.756	100

도달 하는 것을 확인 할 수 있었으며 각각의 물질이 방출되는 속도나 증가하는 비율의 차이가 있음을 확인 할 수 있다.

3.2. 20L static chamber와 micro chamber의 방출 특성비교

Fig. 3은 각각 static chamber와 마이크로챔버에 장착된 도어트립 암레스트로부터 방출되는 물질들의 total ion chromatogram을 나타낸 그림이다. 6번 봉우리의 경우 5-ethyl-2-methyl-octane으로 주로 PP substrate로부터 방출되는 물질로서 20 L static chamber에 장착된 도어트립 암레스트에서는 전체 방출물질 중 22.74%로 높은 비율을 차지했으나 마이크로챔버로 평가한 경우 전체 방출물질 중 2.28%로 낮은 비율로 나타났다. 8번 봉우리인 m-tert-butylphenol의 경우 adhesive에서 주로 방출되는 물질로 static chamber에서는 22.83%로 나타났으나 마이크로챔버에서는 전체 방출물질 중 64.25%를 차지하여 가장 높은 비율로 나타났다.

7.56분대의 dimethylformamide, 9.12분대의 4-hydroxy-4-methyl-2-pentanone의 경우 static chamber에 장착된 도어트립 암레스트의 완제품에서는 검출되지 않았으나, 도어트립 암레스트의 절단부품이 장착된 마이크로챔버에서 전체 방출물질 중 1.63%로 나타났다. 이는 절단으로 인해 구성부품의 절단면에서 방출된 것으로 판단된다.

전체적으로 PP substrate로부터 나오는 방출물질인 봉우리 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10번은 절단부품을 평가하는 마이크로챔버에서는 전체방출물질 중 23.57%를 차지하였으나, 시료에서 방출되는 휘발성유기화합물이 챔버 바깥으로 방출되지 않는 static chamber에서는 59.66%를 차지 차지하였다. 따라서 마이크로챔버에서는 도어트립 암레스트를 구성하는 구성부품 중 PP substrate는 20 L static chamber를 사용하여 평가하였을 때에 비해 마이크로챔버로 평가한 경우 과소평가되는 경향을 보여주었다. 반대로 접착제로부터 방출되는 m-tert-butylphenol은 마이크로챔버를 이용한 절단

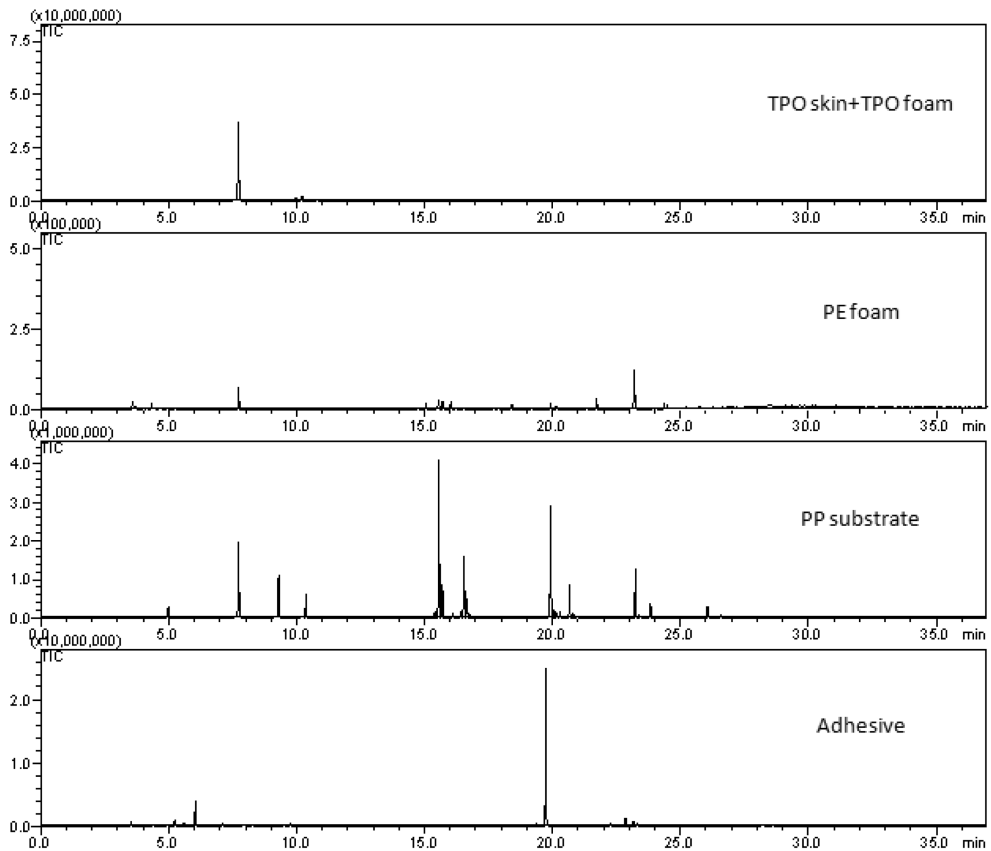


Fig. 4. Chromatograms of each composed components.

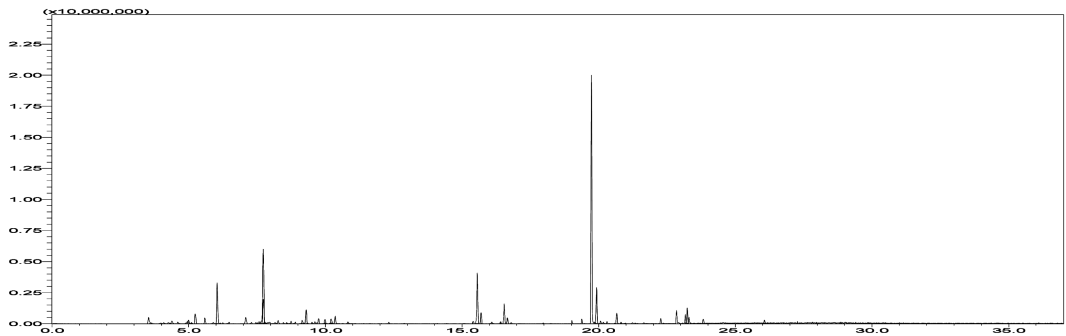


Fig. 5. Overapped chromatogram of components composing door-trim armrest.

부품을 평가한 결과에서 20 L static chamber에 장착된 완제품 평가결과에서 보다 더 높은 비율을 차지하여 과대평가되는 경향을 보여주었다.

3.3. 도어트림 암레스트의 구성부품으로부터 방출되는 VOC 평가

Fig. 4는 ISO 12219-3 방법에 따라 마이크로챔버에 시료를 장착한 후 안정화 시간 20분을 거친 후 Tenax TA가 충전된 흡착관을 사용하여 마이크로챔버의 outlet으로 방출되는 VOCs를 채취한 후, TD-GC/MS로 분석한 total ion chromatogram을 나타낸 것이다. 도어트림 암레스트는 표면을 구성하는 TPO skin, 쿠션 역할을 하는 PE foam, 구조를 지지하는 PP substrate로 구성되며 이들을 접착하는 adhesive로 구성된다.

각 구성부품을 평가한 결과 TPO skin의 경우 toluene이 과대평가되어 나타났다. TPO skin은 실제 도어트림 암레스트를 평가할 때에는 뒷면이 PE Foam에 부착되어 있어 뒷면이 노출되지 않았지만 TPO skin만을 평가할 경우 뒷면이 노출되기 때문에 뒷면에서 더 많은 Toluene이 방출되었을 가능성이 있으며, 소재평가를 위하여 사용한 TPO skin의 제조일 차이로 인한 방출강도의 차이의 가능성이 있다.

절단부품 실험에서 방출된 주요물질들인, 2,4-dimethylheptane, 4-methyloctane, 3,7-dimethyldecane는 대부분 PP substrate에서 기인된 것으로 나타났다. Toluene은 TPO skin에서 주로 방출된 것으로 나타났으며, m-tert-butyl-phenol과 cyclohexane은 접착제에서 주로 방출된 것으로 나타났다.

3.4. 소재별 chromatogram을 이용한 절단부품의 Chromatogram 재현

Fig. 5는 도어트림 암레스트를 구성하는 구성부품인

Table 3. Reflection rate of each components's chromatogram

Component	Reflection rate
TPO skin	0.121
PE foam	1
PP substrate	1.2
Adhesive	1

TPO skin, PE foam, PP substrate, adhesive를 마이크로챔버에 장착하여 평가한 후 중첩시켜 나타낸 chromatogram이며 Table 3에는 각 구성부품의 chromatogram의 반영 비율을 나타내었다.

TPO skin의 경우 실제 시료보다 과대평가되어 비율을 낮게 반영하였으며 PE foam은 절단부품과 비슷하게 나타나 비율의 변화 없이 적용하였다. PP substrate는 과소평가되어 나타나 1.2배 확대하여 반영하였다. Adhesive의 경우 실제 제품을 제조할 때 권장하는 도포량인 150~250 g/m²으로 도포한 경우 과대평가 되는 경향이 있어 권장하는 도포량의 10%인 15~25 g/m²으로 0.030 g을 직경 45 mm인 알루미늄호일에 도포한 후 24시간 건조시켜 평가하였다. 그 결과 절단부품의 비율과 유사하게 나타나 비율의 변화 없이 적용하였다. 그 결과 각 구성 소재를 분석한 chromatogram을 각 소재별로 비율을 다르게 반영하여 중첩한 결과 4가지 구성소재가 모두 포함된 도어트림 암레스트의 절단부품을 평가한 chromatogram을 재현하는 것이 가능했다. Static chamber 방법으로 완제품 평가하여 도어트림 암레스트에서 방출되는 휘발성 유기화합물을 파악한 이후 마이크로 챔버를 이용한 소재평가에서 원인되는 구성소재를 찾는 것이 가능했다. 도어트림 암레스트에서 방출되는 휘발성 유기화합물 중 m-tert-butylphenol과 cyclohexane의 방출원인은 adhesive였으

며, toluene 방출의 원인이 되는 구성부품은 TPO skin 과 PP substrate가 원인 구성부품으로 밝혀졌다. PE foam의 경우 휘발성유기화합물의 방출이 거의 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

이 연구에서는 20 L static chamber방법과 마이크로 챔버 방법을 이용하여 도어트림 암레스트로부터 방출되는 휘발성유기화합물을 평가하여 두 시험방법의 방출패턴의 차이를 알아보았다. static chamber를 사용하여 평가한 완제품과 마이크로챔버를 사용하여 평가한 절단부품에서 방출되는 휘발성유기화합물을 비교한 결과 절단면의 노출로 인하여 추가적으로 나타나는 물질을 확인 하였다. 20 L static chamber에 완제품을 장착하여 평가 하는 것이 방법이 절단면의 노출 없이 평가하므로 절단하여 사용하는 마이크로챔버로 평가 하는 방법에 비해 시료를 평가하는데 더 적합한 것으로 판단된다.

마이크로 챔버 방법은 빠른 시간 안에 평형에 도달하여 자동차 부품으로부터 방출되는 휘발성 유기화합물을 평가 하는 것이 가능하였으며, 자동차 부품을 구성하는 각각의 소재를 마이크로 챔버를 이용하여 분석 후 문제가 되는 소재를 찾는 것은 효과적인 방법이었다.

이 연구는 자동차 실내공기질 영향을 미치는 내장 부품 중 VOC 방출의 원인이 되는 부품을 찾아 개선하여 실내공기질을 깨끗하게 하는 데에 효과적으로 이용될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 지식경제부 표준기술력향상사업 “자동차 내장부품 · 소재의 휘발성 유해물질 분석방법 표준화

개발”사업(B0011700)의 지원과 BK21 웰빙 환경 사업 팀의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. J. S. Grabbs, R. L. Corsi and V. M. Torres, Volatile organic compounds in new automobiles: screening assessment. *J. Environ. Eng.*, **126**(10), 974-977 (2000).
2. M. J. Fedoruk and B. D. Kerger, Measurement of volatile organic compounds inside automobiles. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, **13**, 31-41 (2003).
3. T. Yoshida and I. Matsunaga, A case study on identification of airborne organic compounds and time courses of their concentrations in the cabin of a new car for private use. *Environ. Int.*, **32**(1), 58-79 (2006).
4. Y. C. Chien, *Sci. Total Environ.*, **382**, 228-239 (2007).
5. J. E. Jacobs and M. A. Polster, Measurement and analysis of volatile organic compound emissions from new vehicle interiors. *SAE Int.*, 2010.
6. ISO/DIS 12219-1. Indoor air of road vehicles-part 1: Whole vehicle test chamber specification and method for the determination of volatile organic compounds in cabin interiors, 2010.
7. J. H. Yoo, Development of test method of volatile organic compounds emitted from unit part based car trim components. Kang-Won national Univ, 2011.
8. ISO/CD 12219-3. Indoor air of road vehicles-Screening method for the determination of the emissions of volatile organic compounds (VOC) from car trim components-Part 3: Micro-scale chamber method, 2010.
9. T. Schripp, B. Nachtwey, J. Toelke, T. Salthammer, E. Uhde, M. Wensing and M. Bahadir, *Anal Bioanal Chem.*, **387**, 1907-1919 (2007).