

자동차 신차의 실내에서 발생하는 휘발성유기화합물 분석 연구

윤주호 · 유승을 · 김수민¹ · 김현중^{1†} · 김석만²

자동차부품연구원 환경소재연구센터

¹서울대학교 환경재료과학전공 바이오복합재료 및 접착과학 연구실

²태성환경연구소

(2006년 9월 13일 접수, 2006년 10월 30일 채택)

Analytical Studies on Volatile Organic Compounds from New Automotive Interior Parts

Ju-Ho Yun, Seung-Eul Yoo, Sumin Kim¹, Hyun-Joong Kim^{1†}, and Seok-Man Kim²

Department of Environmental Materials Research Center, Korea Automotive Technology Institute, Chonan 330-912, Korea

¹Lab. of Adhesion & Bio-Composites, Program in Environmental Materials Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

²Tae Sung Environment Institute Co., LTD, Ulsan 680-808, Korea

(Received September 13, 2006; Accepted October 30, 2006)

요약: 본 연구에서는 자동차 실내에서 발생하는 VOCs 성분 및 농도를 분석하기 위해 승용차와 RV차에 대해서 각각 15일, 30일, 45일, 60일 경과한 차량을 대상으로 시험하였다. 그 결과 TVOC는 승용차와 RV차 모두 기준치보다 2~8배 상회하였으며 승용차보다는 RV차량이 더 많이 검출되었다. 특히 톨루엔의 경우 30일 경과 후부터 급격히 감소되었으며 60일 경과 후에도 기준치보다 높게 검출되었다. 크실렌의 경우 45일 경과 후 기준치 이하로 검출됨을 확인하였다. 본 연구결과를 볼 때 자동차 내장부품의 무용제화 및 수성화 대체기술 개발이 시급함을 알 수 있었다. 아직 국제표준화 되어 있지 않은 VOCs의 시험방법표준화를 통하여 성분, 농도, 인체유해성을 충분히 분석하여 대체함으로써 친환경 자동차 생산에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract: The objectives of this study are to analyze emitted components and concentrations of VOCs (Volatile Organic Compounds) from the inside of vehicles that were experimented with sedans and RVs (Recreational Vehicles) delivered from warehouses after 15, 30, 45 and 60 days. The value of TVOC (Total Volatile Organic Compounds) was twice to eight times over than the standard value. However, TVOC of vehicles was more detected than RVs. Especially, the value of toluene was rapidly decreased after 45 days. But after 60 days, it was more detected than the standard value. After 45 days, the xylene value was confirmed to be lower than the standard value. As a result, it was found that development of alternative technologies such as non-solvent and systems for automobile interior parts may be imminent. Using test method standard, although it is not yet International Standard, to analyze and replace components, concentrations, human-noxious, it will contribute to producing environmental-friendly vehicles.

Keywords: VOCs, interior parts, indoor environment, hazardous material, TVOC

1. 서론

최근 새집증후군(Sick House Syndrome)의 요인으로 서 문제시 되고 있는 건축자재에서 발생하는 휘발성 유기화합물(VOCs)을 저감시키기 위한 친환경 건축소

재개발에 많은 연구들이 진행되어 왔다[1-2]. 폼알데히드 방산 저감형 목질복합보드의 제조와 건축재료의 표면접착을 위한 친환경 접착제의 개발이 활발하게 진행되고 있고 다양한 재료에 의한 스캐빈저 시스템이 개발되고 있다[3-7]. 또한, 가소제를 함유한 기존의 플라스틱재료를 대체하기 위한 바이오복합재료의 개발이 진행되고 있고, VOC 및 냄새저감을 위한 재료

[†]Corresponding author: e-mail: hjokim@snu.ac.kr

Table 1. The guide line of VOCs in Japan

물 질 명	실내 농도 기준*
포름알데히드 (Formaldehyde)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 ppm)
톨루엔 (Toluene)	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppm)
크실렌 (Xylene)	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.20 ppm)
파라디클로로벤젠 (Paradichloro benzene)	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
에틸벤젠 (Ethylene benzene)	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88 ppm)
스티렌 (Styrene)	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)
클로르피리프호스 (Chlorpyrifos)	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppb) 단 소아의 경우는 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007 ppb)
프탈산 n-부틸 (Diputyl n-phthalate)	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppm)
테트라 데칸 (Tetra decane)	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
프탈산 2-에틸 헥실 (2-ethylhexyl phthalate)	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7.6 ppb)
다이아지논 (Diazinon)	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppb)
아세트알데히드 (Acetaldehyde)	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)
페노브카르브 (Fenobucarb)	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8 ppb)

*25°C 때의 환산치 ppb=1/1000 ppm.

의 전처리 및 무기질 첨가에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다[8].

이와 더불어 국민의 일상생활과 밀접한 관련이 있는 자동차에 대해서도 새차증후군(Sick Car Syndrome)에 대처하기 위한 친환경소재 개발에 연구들이 필요한 시점이다. 자동차 실내의 감성을 향상시키기며 운전하기 좋은 쾌적한 실내환경을 조성하기 위해 각 자동차 메이커뿐만 아니라 내장부품업체도 많은 노력이 필요하다.

소비자가 신차를 구입시 느낄 수 있는 냄새는 개인적인 기호도에 따라 자동차의 선택에 있어 중요한 포인트가 되고 있다. 또한 신차에서 발생하는 냄새유발 방향성 성분은 200 가지 이상의 VOCs로 구성되어 있으며 복잡다양하게 혼합되어 정량적인 성분분석은 쉽지가 않다. 이러한 자동차 실내의 냄새는 자동차부품을 이루고 있는 기초소재부터 모듈부품까지 개별적으로 가지는 독특한 냄새 때문이다.

특히 고분자소재의 가공오일, 첨가제, 충전제, Base Resin, 안료 염료, 난연제, 가소제, 점착제, 접착제 등의 영향에 따라 냄새성분이 결정된다. 기존에는 이러한 냄새의 판정을 관능검사에 의해 등급을 구분하였으나 부품업체, 완성차업체 및 소비자가 서로 느끼는 정도가 달라 체계적이고 객관적이지 못하다는 평가를 받고 있어 이에 대한 대응방안이 필요하다.

신차의 내부에서 발생하는 냄새성분은 휘발성유기 화합물로 구성되어 있으며 지방족 및 방향족 탄화수소가 대부분을 차지하고 있다.

일본의 후생노동성의 발표에 따르면 신차 출차 직후의 TVOC (Total Volatile Organic Compound)는 약 13,800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1년 후 670 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 약 50%로 감소하지만 기준치인 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 감소하기 위해서는 3~4년의 시간이 필요하다는 보고가 있다[9].

또한 2003년 1월 8일에 일본국민생활센터가 “승용차내의 안전성을 검증하다”라는 제목으로 일본내의 대표적인 3개사(Toyota자동차, Nissan자동차, Honda자동차)의 차종을 선정하여 TVOC 및 포름알데히드를 측정 한 사례를 보고하였다. 그 결과 포름알데히드는 20°C, 40°C 두 가지 방법으로 측정 한 결과 일본후생노동성의 지침치 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 넘었다고 발표하였다. 특히 40°C에서 전 차종이 후생노동성의 잠정기준치를 초과하였으며 Honda자동차의 경우는 20°C에서도 잠정기준치를 초과하였다고 발표하였다.

일본국민생활센터는 자동차회사에 대해서 다음과 같은 의견을 제시하였다. “신차내에서 발생하는 TVOC는 차내의 온도가 높은 경우 농도가 증가하여 후생노동성이 정하는 실내농도에 대한 지침치를 상회하였다. 따라서 휘발성이 있는 화학물질의 사용량을 극도로 제어한 친환경자동차제작이 요망된다고 보고하였다. Table 1에 일본의 노동후생성이 정한 13가지 물질의 실내농도기준을 나타내었다.

또한 독일의 TÜV Nord 연구소에서 신차에서의 TVOC의 농도측정결과 초기에는 7,000~24,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 검출되었고, 20일 경과 후에는 2,500~10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 40일 경과 후에는 1,000~4,500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 된다고 보고하였다.

한편 오스트리아의 CSIRO연구소에서는 제조 후 3~10주간 2대의 신차를 측정하였을 때 벤젠, 아세톤, 시클로헥산, 에테르벤젠, MIBK, 노말헥산, 스티렌, 톨루엔, 크실렌 등의 VOCs가 검출되었고 TVOC의 농도는 최고 64,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다고 보고하였다. 또한 사용 후 자동차에서는 4개월 경과 후의 TVOC의 농도는 2,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다고 보고하였다[10].

아직까지는 국제표준화 되어 있는 자동차 실내 및 내장부품의 VOCs 분석방법은 없으며 내장소재의 VOCs

Table 2. VOCs analysis conditions

Instrument	Item	Condition
GC/MS	Model	CP-3800
	Detector	MSD
	Column	CP SIL 5CB
	Carrier gas	He
	Mobile phase flow rate	1.2 mL/min
	Oven temperature	35°C (5 min)-6°C-250°C (30 min)
	Injection temperature	200°C
	Ionization mode	EI Auto
	ATD	Desorption temperature
Trap temperature		-10°C
GC desorption temperature		300°C/3 min
Valve temperature		200°C
Cleaning temperature		270°C



Figure 1. VOC sampling from inside of new vehicle.

방산포집, 전처리방법의 표준이 없는 실정이다. 또한 미국, 일본, 유럽, 중국 등도 아직 국제표준규격으로 제정되어 있는 시험방법은 없지만 향후 국제표준시험 방법 및 가이드라인 규제치 제정을 통한 환경규제가 대두될 것으로 예견되는바 본 연구를 통해 자동차 실내 및 내장부품의 VOCs 발생현황을 분석하고 이를 저감하기 위한 기초연구를 수행하여 저비용 고효율의 분석방법을 개발하여 자동차업체 및 부품업체의 친환경 자동차 생산에 이바지하고자 한다.

2. 실험

2.1. 시험차종 선정

국내에서 생산된 A사의 차종 중 승용차와 RV차를 선정하였고 출고된 후 각각 15일, 30일, 45일, 60일 경과된 차량을 비교분석하였다.

2.2. 시료 포집 및 보관

자동차 실내의 VOCs 시료 포집장치로 전용 샘플러인 MP-Σ30 (Sibata Co., Japan)를 테프론관으로 흡착튜브에 연결하여 저용량 펌프를 작동시킨 후 펌프가 안정되면 유량을 200 mL/min으로 하여 총 시료채취 유량이 6 L 이하가 되도록 조절하여 채취하였으며, 또한 각 공기포집시스템은 적산유량계(미국 Supelco사제 DC-1)에 의해 공기 유량 보정하였다. 시료채취 완료 후에는 시료채취 전·후의 측정유량을 산술평균 값으로 계산하여 채취유량으로 하였다.

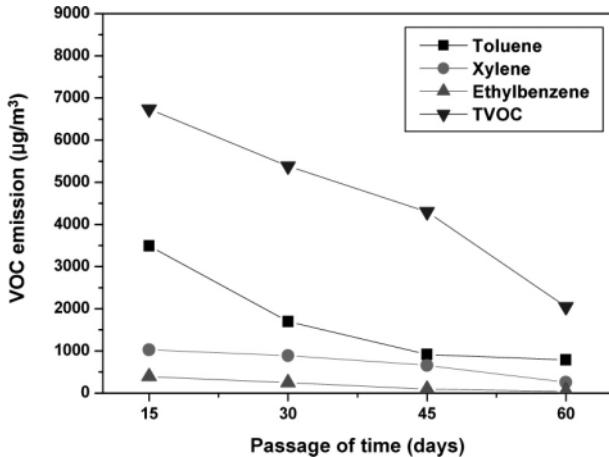
자동차 실내 VOCs를 채취하는 방법에는 일정한 부피를 갖는 스테인리스 재질의 용기에 채취하는 방법과 스테인리스 재질의 가는 관의 Tenax, Carbotrap 등의 흡착제를 채운 후 펌프를 사용하여 채취하는 방법이 있다.

본 연구에서는 스테인레스강 재질의 튜브(90 mm × 5 mm ID, Supelco)에 Tenax TA (60~80 mesh)를 충전한 다중 흡착튜브를 이용하여 VOCs를 채취하였으며 시료채취시에는 기체의 흐름을 정방향(흡착제 충전 방향)으로 하고, 분석을 위한 열탈착시에는 기체의 흐름을 반대방향으로 함으로써 탈착 효율을 향상하였다.

포름알데히드분석을 위해 전용 샘플러인 MP-Σ50 (Sibata Co., Japan)에 펌프 유속 약 1~2 L/min으로 5분 이내로 시료공기를 채취하였다. 채취된 시료는 알루미늄 호일로 포장하여 외부공기와 차단할 수 있는 지퍼백 등으로 밀봉하여 저온, 차광 상태에서 운반하였으며 용매로 추출하기 전까지 냉장(4°C 이하)보관하였다. 자동차 실내의 VOCs 및 HCHO포집장면을 Figure 1에 나타내었다.

Table 3. HCHO analysis condition

Item	Condition
Column	C18
Mobile phase	Acetonitrile : Water=60 : 40 (v/v)
UV detector	360 nm
Flow rate	1.0 mL/min
Injection volume	20 μ L

**Figure 2.** VOCs Test Result of Sedan (Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Total VOC).

2.3. VOCs 및 HCHO 포집

VOCs의 분석을 위해 흡착된 Tenax-TA를 자동열탈착 시료 주입장치(ATD-400)에 장착하여 흡착된 물질을 탈리하여 분석하였으며 HCHO의 분석을 위해 다음과 같이 포집하였다.

방산에 사용되는 모든 초자는 아세토나이트릴로 세척 후 60°C 이상에서 건조하고 아세토나이트릴 3~5 mL를 5 mL 피펫 등을 이용하여 DNPH 카트리지에 주입하였다. 약 1분 동안 흡착된 포름알데히드가 추출되도록 기다린 후 용량을 읽을 수 있는 volumetric flask에 받았다. 포집량이 정확히 5 mL가 되게 포집하고 포집된 시료를 갈색 바이얼에 옮겨 밀봉하여 냉장보관 후 분석하였다.

2.4. VOCs 및 HCHO 분석조건

일반적으로 실내공기에서의 VOCs 측정법은 Tenax법으로 VOCs 물질의 농도를 측정하고, VOCs 물질이 인체에 미치는 영향을 평가하는데 널리 이용되고 있다. 또한, 합성 흡착제인 Porapak Q와 XAD-2 수지를 사용하여 실내공기중의 VOCs 물질을 측정하는 방법이 있다. 이 방법은 각각의 단일 흡착제가 지닌 단점을 보완하기 위하여 여러 종류의 흡착제를 합성하여 사용하는 방법이다. 예를 들어 Tenax법에 사용된 흡착

제와 활성탄을 함께 사용함으로써 비닐클로라이드 물질을 측정할 수 있도록 보완된 방법이다.

아직까지도 대기나 실내 공기중의 VOCs 물질을 측정하는 방법에 대한 정확한 측정 기준과 방법이 마련되어 있지 않으며, 미국에서는 Tenax법과 진공 금속용기에 사용한 방법이 가장 많이 사용되고 있다.

표준시료 및 방산시험시료에 함유된 VOC 대상물질의 분석에는 자동 열탈착장치(ATD-400, Perkin Elmer, UK)가 GC 칼럼으로 직접 연결된 GC/MS시스템을 사용하였다. 각 흡착관의 특성과 칼럼의 특성에 따라 분석조건이 달라져야 하므로, 방산시험 시료 채취시 동일한 조건으로 채취하였던 예비시료를 이용하여 분석조건을 결정하였다. GC/MS의 분석조건을 Table 2에 나타내었다.

또한 포름알데히드를 분석하기 위해 본 연구에서는 1 cm × 4 cm의 폴리프로필렌 튜브에 350 mg의 2,4-DNPH-coated silica (1 mg DNPH)를 충전한 Lp DNPHS 10L 카트리지(Supelco Inc., U.S.A)를 사용하여 카르보닐 화합물을 채취하였다.

포집된 DNPH 유도체로부터 카르보닐화합물의 분석은 HPLC를 이용하였다. DNPH 유도체는 자외선 영역에서 흡광성이 있으며 350~380 nm에서 최대의 파장을 360 nm에 고정시켜 분석하였다. 표준물질을 이용하여 구한 감응계수를 시료의 피크면적에 적용하여 계산하는 외부표준법을 사용하여 분석하였으며 분석조건을 Table 3에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

자동차가 출고된 후 15일, 30일, 45일, 60일 경과된 승용차와 RV차량을 비교분석한 결과를 Table 4, 5에 나타내었다. 포름알데히드 및 개별 VOCs의 농도가 승용차보다 RV차량이 더 많이 검출되었으며 TVOC의 경우 기준치인 1,000 μ g/m³보다 2배에서 8배 가량이 많이 검출되었다. 톨루엔의 경우 15일 경과 후 차량에서는 대량 검출되었지만 30일부터는 급격히 감소함을 알 수 있었다. 그러나 기준치인 260 μ g/m³보다 2.8배에서 13배나 초과하였으며 경과일 60일 이후에도 기준치를 상회하였다. 크실렌의 경우 승용차에서는 45일 경과 후 측정결과가 기준치 이하를 나타내었으며 RV차량의 경우 30일 경과 후 측정결과가 기준치 이하로 나타났다.

일본 자동차공업협회(JAMA)에서는 자동차 실내를 거주 공간의 일부로 간주하여 자동차에 사용되는 방법 및 주택과의 환경차이를 고려한 최적의 VOCs 농도 시험 방법의 연구와 실태 조사 등을 진행시켜 왔다. 이들 결과에 근거하여 자동차실내의 VOCs 농도

Table 4. VOCs and HCHO test result

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

VOC	Limited	After 15 days		After 30 days		After 45 days		After 60 days	
		Sedan	RV	Sedan	RV	Sedan	RV	Sedan	RV
Formaldehyde	100	14.6	17.6	13.0	14.0	7.3	13.2	6.0	10.4
Toluene	260	3,493.7	3,736.0	1,699.0	1,727.5	915.7	1,142.8	790.0	718.0
Xylene	870	1,027.4	1,422.3	891.1	854.0	659.4	760.8	258.5	480.0
Paradichloro benzene	240	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethylene benzene	3800	392.5	484.7	244.6	135.8	91.0	110.3	41.7	58.5
Styrene	220	23.3	77.0	11.0	53.4	8.5	28.6	7.1	18.3
Chlorpyrifos	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Diputyl n-phthalate	220	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetra decane	330	9.9	15.8	7.5	10.3	4.4	7.7	-	-
2-ethylhexyl phthalate	120	-	-	-	-	-	-	-	-
Diazinon	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-
Acetaldehyde	48	8.4	22.3	5.8	21.0	2.3	7.0	-	-
Fenobucarb	33	-	-	-	-	-	-	-	-
TVOC	400 ~ 1,000	6,739	8,580	5,382	6,503	4,302	4,704	2,049	2,453

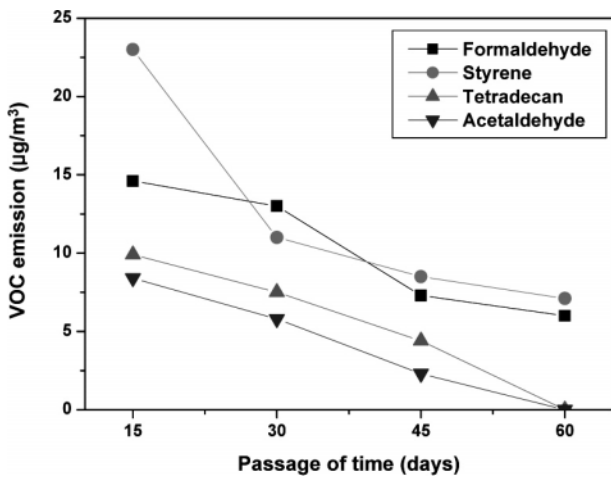


Figure 3. VOCs Test Result of Sedan (Formaldehyde, Styrene, Tetradecan, Acetaldehyde).

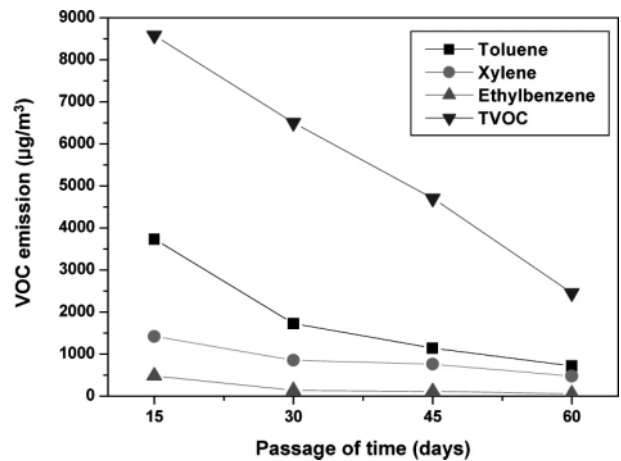


Figure 4. VOCs Test Result of RV (Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Total VOC).

측정에 필요한 “자동차 실내 VOCs 시험 방법(승용차)”을 새로이 책정하여 2007년도 이후의 신형 승용차에 대해서는 후생노동성이 정한 13개 물질의 실내 농도 지침값을 만족시키는 “자동차 실내 VOCs 저감 대책”을 자주적으로 개시해 나갈 예정이다. 일본의 자동차 메이커 각사는 휘발성 화학물질의 사용량을 억제 한 자동차 부품소재개발에 많은 노력을 기울여 왔지만 본 대책으로 인해 향후에는 화학물질 중에서도 일본 후생노동성이 실내 농도 지침값으로 정한 2-화학물질(톨루엔, 크실렌)에 대한 저감을 우선적으로 진행시켜 나갈 예정이다[11,12]. 예를 들면, 접착제나 도료에

포함되는 용제의 수성화 또는 무용제화 등이 추진되고 있다. 또한 자동차 실내 VOCs는 실내의 여러 가지 부품으로부터 휘발되는 성분의 혼합물이므로, 향후 부품 메이커나 소재 메이커의 협력을 통해 재료적 측면의 접근을 실시할 예정이어서 국내에서도 이러한 연구를 진행중이다. Figures 2, 3에는 승용차의 VOCs 측정결과를 나타내었으며 Figures 4, 5에는 RV차량의 VOCs 측정결과를 나타내었다.

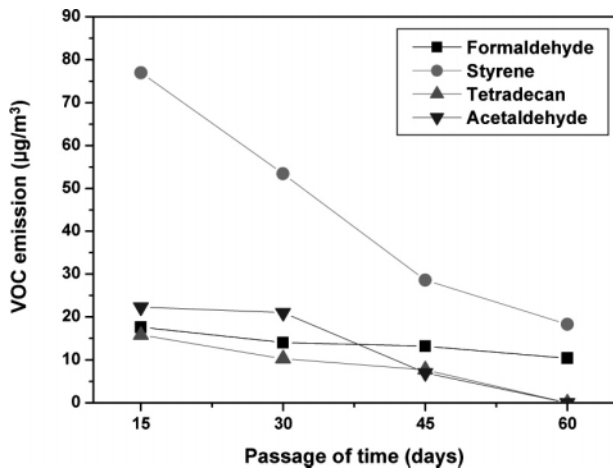


Figure 5. VOCs Test Result of RV (Formaldehyde, Styrene, Tetradecan, Acetaldehyde).

4. 결 론

본 연구에서는 국내에서 생산된 차량 중 15일, 30일, 45일, 60일 기간 동안의 차량 실내에서 발생하는 VOCs 성분들을 포집하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) TVOC의 양은 승용차와 RV차 모두 기준치를 2~8배 더 검출되었으며 이에 대한 대책이 시급함을 알 수 있었다.

2) 전체적으로 승용차보다는 RV차량에서 포름알데히드 및 VOCs 성분들이 더 많이 검출됨을 확인하였다.

3) 톨루엔의 경우 60일 경과 후에도 기준치 이하로 저감되지 않고 계속 발생되므로 이에 대한 개선책이 시급함을 알 수 있었다.

4) 크실렌의 경우 45일 경과 후 기준치 이하로 검출됨을 확인하였다.

이상의 결론을 종합해 볼 때 자동차 실내에서 발생하는 VOCs 성분 중 톨루엔 및 크실렌에 대한 저감을 위한 대책이 필요하며 대체소재로서 무용제화 및 수성화 기술이 개발되어야 할 것으로 사료된다. 그러나 아직 국제적으로 통용되는 VOCs 표준시험방법은 없지만 자동차 완성차업체를 중심으로 자사의 사내규격 제정을 통해 친환경소재 개발 및 적용을 발빠르게 움직이고 있기 때문에 이에 대한 대응방안이 필요한 시점이다. 따라서 무엇보다도 시급한 것이 자동차 실내 VOCs의 정성 및 정량분석을 위한 시험방법 개발이 시급하며 표준화된 시험방법을 토대로 자동차를 대상으로 VOCs의 성분, 농도, 인체유해성 등을 다각적으로 검토하여 문제부품을 도출하고 이에 대응할 수 있

는 대체소재 개발 및 대체공정개발 지원이 이루어져야 향후 선진국의 환경무역 장벽에 적극 대처할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 산업자원부 자동차기반기술개발사업(2005~2008)으로 수행되었습니다. 김수민은 교육인적자원부 BK21 사업 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 윤동원, 김신도, “오염물질방출 건축자재선정 관련 연구”, 환경부보고서 (2003).
2. 김수민, 김현중, “새집증후군관리와 Green KS”, *플라스틱 사이언스*, **218**, 41~46 (2005).
3. S. Kim and H.-J. Kim, Comparison of Standard Methods and Gas Chromatography Method in Determination of Formaldehyde Emission from MDF bonded with Formaldehyde-based Resins, *Bioresource Technology*, **96(13)**, 1457~1464 (2005).
4. S. Kim and H.-J. Kim, Comparison of Formaldehyde Emission from Building Finishing Materials at various Temperatures in under Heating System; *ONDOL, Indoor Air*, **15**, 317~325 (2005).
5. S. Kim and H.-J. Kim, Effect of Addition of Polyvinyl Acetate to Melamine-Formaldehyde Resin on the Adhesion and Formaldehyde Emission in Engineered Flooring, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **25(5)**, 456~461 (2005).
6. S. Kim, H.-J. Kim, H.-S. Kim, and H. H. Lee, Effect of Addition of Polyvinyl Acetate to Melamine-Formaldehyde Resin on the Adhesion and Formaldehyde Emission in Engineered Flooring, *Macromolecular Materials and Engineering*, **291**, 1027~1034 (2006).
7. S. Kim and H.-J. Kim, Initial Tack and Viscoelastic Properties of MF/PVAc Hybrid Resins used as Adhesives for Composite Flooring Materials, *Journal of Adhesion Science and Technology*, **20(7)**, 705~722 (2006).
8. H.-S. Kim, S. Kim, and H.-J. Kim, Enhanced Interfacial Adhesion of Bioflour-Filled Poly(propylene) Biocomposites by Electron-Beam Irradiation, *Macromolecular Materials and Engineering*, **291**, 762~772 (2006).

9. S. Tanabe, "Indoor Air Quality in Vehicle Cabin", 차실내환경포럼, pp. 70~73 (2003).
10. S. K. Brown and M. Cheng, "Volatile Organic Compounds in New Car Interiors", 국제청정환경컨퍼런스 (2001).
11. JAMA Report NO.98 車室内VOC (揮發性有機化合物) 低減に對する自主取り組み, 社團法人 日本自動車工業會(Japan Automobile Manufacturers Association, Inc.).
12. 自動車空調技術總合レビュー-2006, 社團法人 自動車技術會 (2006).