

방출셀을 이용한 액상건축자재 오염물질 방출시험방법 정립에 관한 연구

임정연 · 장성기* · 서수연

국립환경과학원 실내환경과
(2008. 9. 30. 접수, 2009. 3. 5. 승인)

Study on establishment of emission cell test method for liquid phase building materials

Jungyun Lim, Seongki Jang* and Sooyun Seo

Indoor Air Quality Division, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

(Received September 30, 2008; Accepted March 5, 2009)

요 약: 이 연구는 소형방출챔버와 방출셀을 이용한 총휘발성유기화합물(TVOC) 방출시험결과의 상관성을 규명하여 방출셀을 이용한 액상 건축자재 오염물질 방출시험 방법을 정립하고 활용방안을 제시하기 위한 기초 자료를 확보하고자 수행되었다. 소형방출챔버와 방출셀을 이용한 액상 건축자재 방출시험을 실시하기 위해 방출시험 적합성 여부를 판단하고 최적조건을 확립하기 위하여 방출시험장치, 분석기기에 대한 성능평가를 실시하였다. 방출시험 장치인 소형방출챔버와 방출셀의 배경농도 청정도, 기밀도, 회수율, 분석장치인 열탈착장치 회수율 및 GC/MS 기기재현성, 방법검출한계(MDL) 등을 평가한 결과 방출시험장치와 분석기기의 조건은 안정적이고 재현성과 감도가 양호하여 액상 건축자재에서 방출되는 오염물질에 대한 측정·분석조건이 최적화되었음을 확인할 수 있었다. 페인트, 접착제, 실란트로 구성된 40개의 액상 건축자재를 대상으로 소형방출챔버와 방출셀을 이용하여 오염물질 방출시험을 실시한 결과 방출되는 총휘발성유기화합물의 농도는 소형 방출챔버와 방출셀에서 모두 대수정규분포(log normal distribution)하였으며 시험방법차이에 따른 방출량 분포의 차이는 크지 않았다. 또한 방출셀을 이용하여 오염물질 방출시험을 실시하였을 때, 소형방출챔버를 이용하였을 때보다 약 1.35~1.41배 높은 방출량을 나타내었으며 상관계수(r)가 약 0.91~0.97의 범위를 보여 높은 상관성이 있는 것으로 확인되었다.

Abstract: The aim of this study was to evaluate and establish of emission test method for liquid phase building materials such as paint, adhesive, sealant by emission cell. A small-scale emission chamber and emission cell were used to evaluate emission of TVOC from paint, adhesive, sealant. The quantity of TVOC emission were measured by a gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). Background concentration of TVOC was below $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the emission chamber and cell. Air tightness and recovery in chamber and cell showed good results. The recovery of thermal desorber for toluene and *n*-dodecane were about 120%. The repeatability of response factor and retention time in GC/MS below 30%. The method detection limit of VOCs ranged 0.04~8.82 ng.

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)32-560-7360 Fax : +82-(0)32-561-7013

E-mail : skjang316@korea.kr

The concentration of TVOC emission using emission cell was 1.35~1.41 times higher than emission chamber.
The correlation of TVOC emission using chamber and cell method was significantly high ($r=0.91\sim0.97$).

Key words : liquid phase building materials, TVOC, small-scale emission chamber, emission cell, correlation

1. 서 론

현대 건축물에는 다양한 종류의 건축자재들이 사용되고 있으며 이들 건축자재의 대부분은 복합화합물질로 구성되어 실내에서 휘발성유기화합물 등의 오염물질을 방출하는 주요 오염원이 되고 있다.¹

최근 몇 년 간 실내 건축자재에서 방출되는 오염물질에 대한 관심이 증가함에 따라 국내에서는 실내에서 사용되는 건축자재에서 방출되는 오염물질의 양을 줄여 실내 거주자들에 대한 공기 중 오염물질 노출을 감소시키고 보다 건강한 실내공기질을 확보하고자 하였다. 특히 실내에서 사용되는 건축자재에 대한 오염물질 저감노력은 정부와 민간 차원에서 동시에 이루어지고 있다. 오염물질 저방출 건축자재에 대해서는 친환경상품진흥원의 환경마크, 한국공기청정협회의 HB마크 등이 부여되고 있으며, 오염물질 다량 방출 건축자재에 대해서는 환경부가 2004년 5월부터 건축자재 오염물질 방출시험을 실시하여 실내사용을 제한하고 있다. 따라서 건축자재 오염물질 방출시험 결과에 대한 신뢰성 확보는 매우 중요하다.

실내공기질 공정시험방법에서 제시하고 있는 소형방출챔버를 이용한 건축자재 오염물질 방출시험방법은 일반적으로 20L 용량의 챔버를 사용하며 국제적으로 널리 사용되고 있는 시험방법이다. 그러나 이 시험방법은 시험장치, 시험조건, 기기의 정도관리 및 실험자의 숙련도 등에 따라 시험결과가 다르게 나타날 수 있기 때문에 시험결과에 영향을 미치는 요인을 파악하여 시험방법을 최적화하는 것이 필요하다. 최근 소형방출챔버법에 비하여 시료의 채취가 용이하고 실험실뿐만 아니라 현장의 건물 구조체에서 발생하는 오염물질의 측정이 가능한 방법으로 소형챔버법을 대용할 수 있는 것으로 알려져 있는² 방출셀을 이용한 건축자재 오염물질 방출시험방법이 주목받고 있다.

유럽 등에서는 방출셀을 이용한 건축자재 오염물질 방출시험방법을 제시하고 활용하고 있으나, 국내 실내공기질 공정시험방법에서는 방출셀을 이용한 시험방법을 제시하고 있지 않아 소형방출챔버법을 대용할 수 있는 시험방법이 부재한 실정이다. 방출셀을 이용

한 시험방법의 국내 적용 및 활용을 위해서는 기존에 널리 사용하고 있는 소형방출챔버법을 이용한 시험결과와의 비교평가가 우선되어야 할 것으로 생각된다. 실제로 유럽연합(EU)에서는 건축자재 오염물질 방출시험을 실시하고 있는 실험실을 대상으로 소형방출챔버와 방출셀을 이용한 오염물질 방출시험을 실시하고 실험실 간 시험결과를 비교평가 하여^{3,5} 실험실과 시험장비의 차이에서 발생하는 오염물질 방출시험 결과의 차이를 줄이고자 노력한 예가 있다.

이 연구에서는 소형방출챔버와 방출셀을 이용한 총 휘발성유기화합물(TVOC) 방출시험을 실시하고 각 시험방법 간 결과의 상관성을 규명하여 방출셀을 이용한 액상 건축자재 오염물질 방출시험 방법을 제시하여 활용하기 위한 기초 자료를 확보하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 시험장치 구성

이 연구에 사용된 소형방출챔버 장치(Top trading, Korea)는 공기공급장치, 공기청정장치, 습도조절장치, 항온조, 소형챔버, 자동유량조절장치(MFC: Mass Flow Controller)로 구성되어 있으며 구성도는 다음 Fig. 1과 같다. 공기정화장치는 오염물질을 제거한 청정공기를 공급하기 위하여 활성탄(Activated Carbon)과 실리카겔(Silica gel) 및 분자체(Molecular sieve) 등으로 이루어진 총 10단계의 필터로 구성하였으며, 방출챔버는 20L 용량의 스테인리스강(S.S)재질로 오염물질의 흡착을 최소화하기 위하여 전해연마(EP: Electro Polishing) 처리를 하였다.

방출셀 시험장치(Chematec, Denmark)는 오염되지 않은 순수 혼합 공기가 저장된 가스저장용기, 방출셀 내로 유입되는 공기의 정화를 위해 활성탄 필터를 장착한 온·습도 조절장치, 방출셀, 자동유량조절장치가 내장된 시료채취용 펌프로 구성되어 있으며, 구성도는 Fig. 2와 같다.

방출셀은 항산성(Acid-resistant)의 스테인리스강(S.S.) 재질로서 내부는 부피가 약 35 cm^3 이며 오염물질의 흡착을 최소화하기 위하여 전해연마 처리 하였다. 시험편

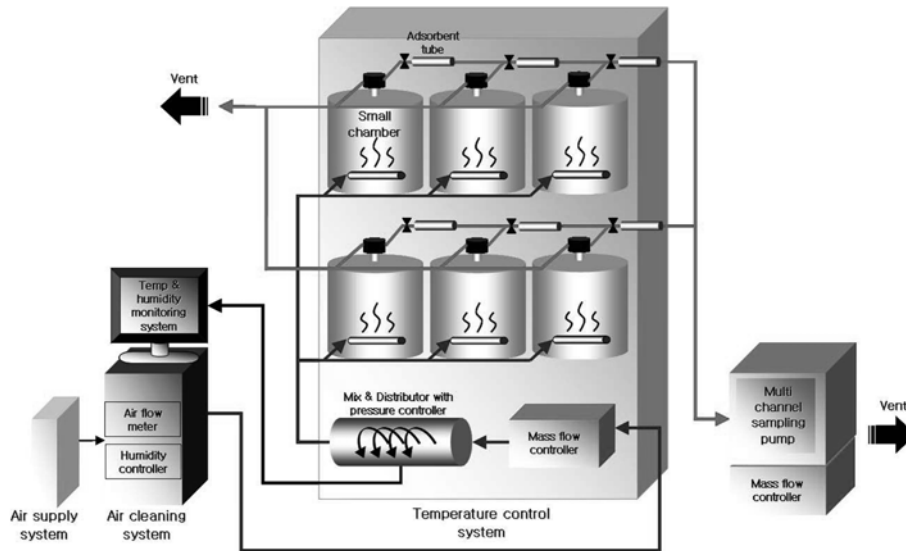


Fig 1. Schematic diagram of emission chamber system.

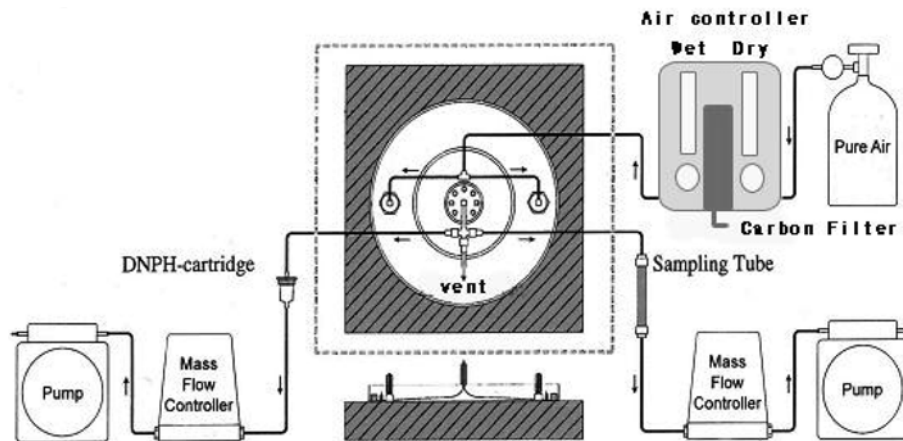


Fig. 2. Schematic diagram of emission cell system.

과 맞닿는 부분은 실리콘 재질의 O-ring을 이용하여 시험편에 밀착되도록 하여 외부 공기의 유입을 차단하였다.

2.2. 시험조건

이 연구에 사용된 소형방출챔버와 방출셀의 방출 시험조건은 다음 Table 1과 같다.

소형방출챔버 내 시험편의 총 노출면적은 약 82 cm²로 시료부하율은 0.4 m²/m³이었으며 챔버 내 환기횟수는 유입유량을 167 mL/min으로 조절하여 0.5±0.05 /h가 유지되도록 하였다. 방출셀 내 시험편의 노출면적은 177 cm²로 시료부하율은 510 m²/m³이었으며, 시험

Table 1. Operating conditions of emission chamber and emission cell system

Parameter	Condition	
	Emission chamber	Emission cell
Volume	20 L	35 cm ³
Material	Stainless-steel (E.P.)	Stainless-steel (acid-resistant, E.P.)
Temperature & humidity	25 ± 1 °C, 50 ± 5%	25 ± 1 °C, 50 ± 5%
Specimen area	82 cm ²	177 cm ²
Loading factor	0.4 m ² /m ³ (± 10%)	510 m ² /m ³
Air exchange rate	0.5 ± 0.05 /h	514 /h

결과의 상관성 파악을 위하여 소형방출챔버실험 조건과 동일한 시험편 단위면적당 환기량(q)값을 설정하기 위해 시험기간 동안 방출셀 내로 유입되는 공기의 유량을 300 mL/min으로 조절하여 514 회/h의 환기횟수를 유지하였다.

2.3. 시험대상 자재 선정 및 시험편 제작 방법

이 연구에서는 페인트 20개, 접착제 12개, 실란트 8개 등 액상 건축자재 40종을 대상으로 실내공기질공정시험방법(환경부 고시 제 2004-80호)에 따라 3일 간 방출시험을 실시하였다. 시험편 제작 시 시료 도포량은 소형방출챔버와 방출셀의 시험편 모두 최종적으로 300 g/m²(±5%)가 되도록 하여 균일하게 도포하였다. 수성페인트 48시간, 유성페인트 24시간, 접착제와 실란트는 60분 간 각각 건조하여 사용하였다.

2.4 시료채취방법

휘발성유기화합물 시료의 채취는 자동유량조절장치가 장착된 시료채취용 펌프를 이용하여 방출챔버와 방출셀 내로 유입되는 총 유량의 80% 이하로 채취하였으며 Tenax-TA가 충전된 고체흡착관(Supelco, USA)을 이용하여 방출챔버에서 130 mL/min의 유량으로 25분간, 방출셀에서 60 mL/min의 유량으로 30분 간 채취하였다.

휘발성유기화합물을 채취한 고체흡착관은 대부분 시료채취 즉시 분석하였으나, 즉시 분석하지 못한 시료

는 1/4인치 마개(swage lock-type with PTFE ferrules)로 밀봉한 후 50 mL 바이알에 넣어 4 °C 이하에서 냉장 보관하였으며 최대 2주를 넘지 않도록 하였다.

2.5. 시료분석방법

휘발성유기화합물의 분석은 열탈착장치(DANI, Italy)를 이용하여 열탈착 전처리를 하였으며, 가스크로마토그래프/질량분석기(Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였다. 열탈착장치(TD)의 운전조건 및 가스크로마토그래프/질량분석기(GC/MS)의 분석조건은 Table 2에 나타내었다.

휘발성유기화합물(VOCs)의 농도 정량을 위한 검량선(calibration curve)은 농도별로 희석한 액상 표준물질(Japanese indoor air standards mix, Supelco, USA)을 약 300 °C에서 기화시킨 후 질소를 이용하여 80 mL/min의 유량으로 흡착관에 함침하여 만든 5단계 농도수준(20 ng, 50 ng, 100 ng, 200 ng, 500 ng) 표준시료들을 분석하여 작성하였다. 총휘발성유기화합물은 가스크로마토그래프에 의한 크로마토그램상의 n -헥산에서 n -헥사데칸(n -Hexane~ n -Hexadecane: C₆~C₁₆)까지의 범위에서 검출되는 휘발성유기화합물을 대상으로 톨루엔 검량선식으로 환산하여 정량하였으며 천연 자재에서 방출된 것으로 확인되고 국제적으로 인체에 무해한 것으로 입증된 물질은 제외하였다. 표준물질의 크로마토그램과 주요 휘발성유기화합물의 검량선은 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다.

Table 2. Analytical condition of thermal desorber(TD) and GC/MS

Thermal desorber (STD 1000, DANI, Italy)		GC/MS (GC-2010, Shimadzu, Japan)	
Parameter	Condition	Parameter	Condition
Purge temperature and time	40 °C, 1.0 min	GC column	VB-1ms (60 m × 0.25 mm × 1.0 μm)
Desorption temperature	300 °C	Initial temperature	40 °C (6 min)
Desorption time	15 min	Oven ramp rate 1	4 °C/min (40~180)
Desorption flow	100 mL/min	Oven ramp rate 2	20 °C/min (180~250)
Cold trap low temperature	-10 °C	Final temperature	250 °C (10 min)
Cold trap high temperature	320 °C	Column flow	1.5 mL/min
Cold trap holding time	15 min	MS source temperature	200 °C
Cold trap packing	Tenax-TA	Detector type	EI (Quadropole)
Valve temperature	210 °C	Mass range	35~350 amu
Transfer line temperature	240 °C	Electron energy	70 eV
Split	No	Split	10:1

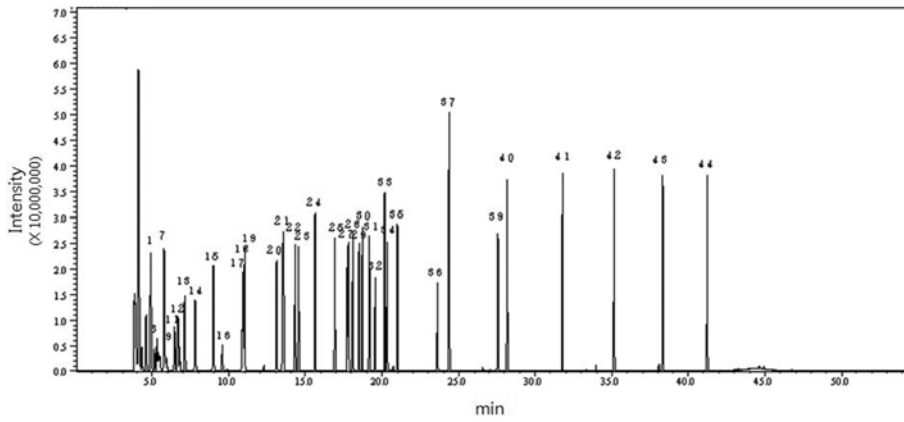


Fig 3. Chromatogram of volatile organic compounds standard.

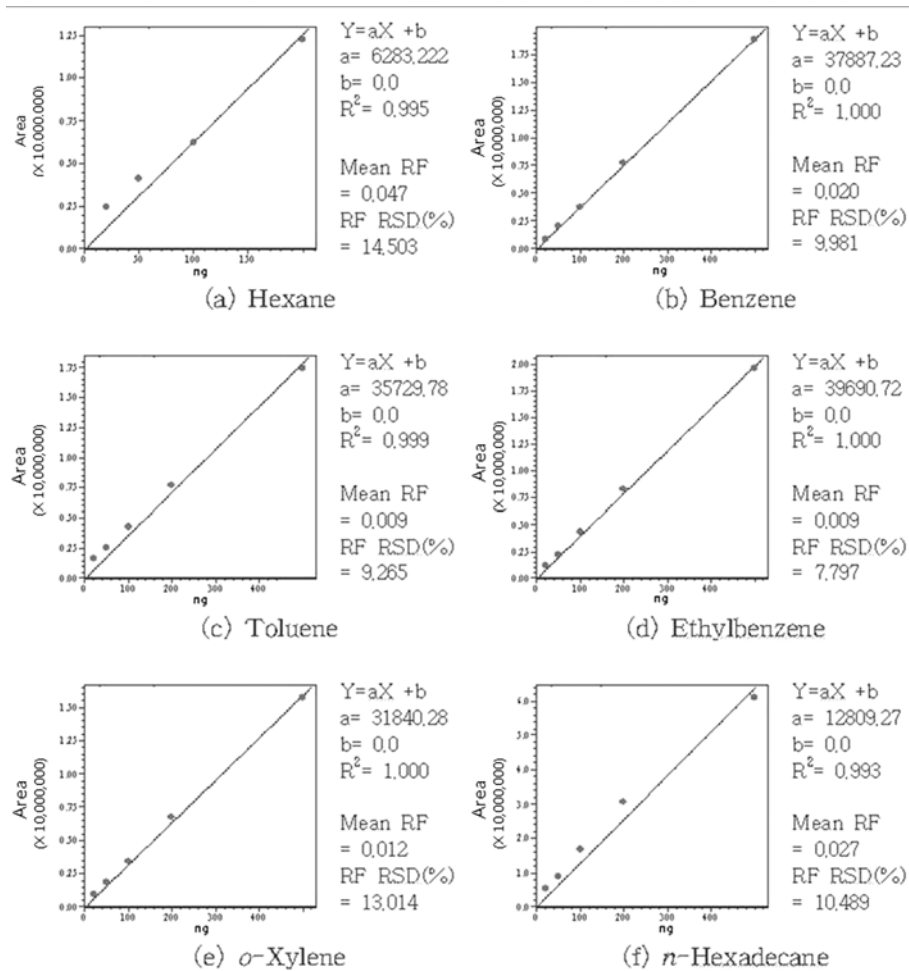


Fig 4. Calibration curve of major volatile organic compounds.

3. 결과 및 고찰

3.1. 방출시험 장치 성능평가

3.1.1. 배경농도의 청정도

총휘발성유기화합물의 챔버 내 배경농도는 3개의 챔버에서 모두 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 3개의 방출셀에서 모두 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 실내 공기질 공정시험방법의 배경농도 기준인 총휘발성유기화합물 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 만족하여 매우 청정하였다(Table 3).

3.1.2. 기밀도

챔버 내 압력이 대기압보다 1000 Pa 높은 상태에서 새는 공기량을 3번 반복하여 측정된 결과 챔버에서 새는 공기량은 $5 \text{ mL}/\text{min}$ 미만으로 매우 양호하였으며 3개의 방출셀에 대하여 방출셀 내의 유량을 방출시험 조건인 $300 \text{ mL}/\text{min}$ 으로 설정한 후 입구와 출구 공기 유량을 반복 측정한 결과, 입구와 출구 유량의 차이가 5% 이내로 방출셀이 충분히 밀폐되었음을 확인하였다.

3.1.3. 회수율

이 연구에서는 소형방출챔버와 방출셀에 대한 전체적인 성능을 평가하는데 중요한 지표인 회수율을 평가하였다. 국제표준규격인 ISO 등에서는 방출챔버와 방출셀의 톨루엔 및 도데칸에 대한 회수율이 80% 이상을 만족할 것을 권장하고 있다.^{6,7} 소형방출챔버의 회수율은 정밀 교정가스 발생장치를 이용하여 일정한 농도의 표준용액으로부터 휘발성유기화합물과를 발생시켜 챔버 내부로 유입시킨 후 72시간이 경과 한 뒤 챔버로 유입되는 공기와 챔버에서 유출되는 공기 중 오염물질을 3번 반복 채취하여 그 농도비를 구하여 계산하였으며 방출셀의 회수율은 주어진 시간동안 방출셀을 통해 나가는 공기 중의 특정 휘발성유기화합물의 측정값을 같은 기간동안 방출셀로 유입되는 휘발성유기화합물의 양으로 나눈 값⁸으로 하였다.

소형방출챔버와 방출셀의 회수율을 평가한 결과 주요 휘발성유기화합물에 대하여 81~130%의 회수율을 보여

Table 3. Background concentration of emission chamber and emission cell (n = 18, unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Chamber No.	Emission chamber	Emission cell
1	7.92	2.16
2	9.59	0.97
3	5.62	0.50
Average	7.56	1.20

Table 4. Recovery tests of emission chamber and emission cell (n=3)

Compounds	Recovery(%)	
	Chamber	Cell
Benzene	130.0	107.0
Toluene	103.7	122.5
Ethylbenzene	95.6	128.4
Styrene	89.6	107.5
n-Dodecane	86.8	81.3

Table 5. Recovery of thermal desorber for VOCs (n=4)

Compounds	Direct Injection (ng)	Thermal Desorption (ng)	Recovery (%)
	n-Hexane	129.5	
Benzene	106.3	120.4	113.3
Toluene	118.0	141.9	120.2
Ethylbenzene	126.7	133.2	105.2
m,p-Xylenes	246.0	259.1	105.3
Styrene	106.5	118.3	111.1
o-Xylenes	122.9	127.9	104.1
n-Dodecane	97.7	121.0	123.8

양호한 결과를 나타내었다(Table 4).

3.2. 분석방법 평가

3.2.1. 열탈착장치(TD)의 회수율

휘발성유기화합물 채취용 고체흡착관인 Tenax-TA의 전처리 장치인 자동열탈착장치의 회수율 시험결과를 Table 5에 나타내었다. 회수율 시험은 4회 반복하여 분석하였다. n-헥산, 벤젠, 톨루엔, m,p-자일렌, 스티렌, o-자일렌, n-도데칸에 대하여 자동열탈착장치는 92.4~123.8%의 회수율을 보여 양호하였다.

ISO 16000-6에서는 열 탈착장치의 회수율을 octadecane에 대하여 95% 이상으로 규정하고 있다.

3.2.2. 체류시간 및 감응계수의 재현성

가스크로마토그래프/질량분석기(GC/MS)의 체류시간(RT:Retention Time)과 감응계수(RF:Response Factor)에 대한 재현성 시험 결과는 Table 6에 나타내었다. 휘발성유기화합물에 대한 가스크로마토그래프/질량분석기의 재현성은 체류시간의 RSD가 0.1% 이하, 감응계수의 RSD가 13% 이하로 나타났다.

3.2.3. 방법검출한계(MDL)

낮은 농도수준의 표준물질을 7회 반복 분석하여 구

Table 6. Repeatability of GC/MS analysis (n=15, unit=RSD*, %)

Compounds	R.T.**	R.F.***	Compounds	R.T.	R.F.
Hexane	< 0.1	2.17	<i>o</i> -Xylene	< 0.1	2.35
Chloroform	< 0.1	2.15	<i>n</i> -Nonane	< 0.1	2.23
1,2-dichloroethane	< 0.1	1.70	alpha-Pinene	< 0.1	2.68
2,4-dimethyl-pentane	< 0.1	8.16	<i>p</i> -Ethyltoluene	< 0.1	2.21
1,1,1-trichloroethane	< 0.1	4.15	<i>m</i> -Ethyltoluene	< 0.1	2.36
<i>n</i> -Butanol	< 0.1	2.98	1,2,3-trimethylbenzene	< 0.1	2.15
Benzene	< 0.1	1.96	<i>o</i> -Ethyltoluene	< 0.1	2.34
Carbon tetrachloride	< 0.1	3.66	beta-Pinene	< 0.1	2.48
1,2-dichloropropane	< 0.1	2.38	1,2,4-trimethylbenzene	< 0.1	2.20
Bromodichloro-methane	< 0.1	1.92	1,4-dichlorobenzene	< 0.1	2.01
Trichloroethylene	< 0.1	2.38	<i>n</i> -Decane	< 0.1	2.27
Isooctane	< 0.1	12.02	1,3,5-trimethylbenzene	< 0.1	2.01
<i>n</i> -Heptane	< 0.1	2.31	D-Limonene	< 0.1	2.17
Methyl isobutyl ketone	< 0.1	2.13	Nonanal	< 0.1	1.90
Toluene	< 0.1	2.67	<i>n</i> -Undecane	< 0.1	1.68
Dibromochloromethane	< 0.1	2.32	1,2,4,5-tetramethylbenzene	< 0.1	1.99
Butyl acetate	< 0.1	2.14	Decanal	< 0.1	2.18
<i>n</i> -Octane	< 0.1	2.22	<i>n</i> -Dodecane	< 0.1	3.31
Tetrachloroethylene	< 0.1	2.18	<i>n</i> -Tridecane	< 0.1	1.80
Ethylbenzene	< 0.1	2.07	<i>n</i> -Tetradecane	< 0.1	1.79
<i>m,p</i> -Xylene	< 0.1	2.18	<i>n</i> -Pentadecane	< 0.1	1.58
Styrene	< 0.1	2.79	<i>n</i> -Hexadecane	< 0.1	2.03

*: Relative Standard Deviation, **: Retention Time, ***: Response Factor

Table 7. Estimation of MDL for VOCs (n=9)

No.	Compounds	ng	No.	Compounds	ng
1	Hexane	0.44	23	<i>o</i> -Xylene	1.14
2	Chloroform	0.19	24	<i>n</i> -Nonane	1.50
3	1,2-dichloroethane	0.12	25	alpha-Pinene	0.18
4	2,4-dimethyl-pentane	1.22	26	<i>p</i> -Ethyltoluene	0.49
5	1,1,1-trichloroethane	0.92	27	<i>m</i> -Ethyltoluene	0.31
6	<i>n</i> -Butanol	1.30	28	1,2,3-trimethylbenzene	0.23
7	Benzene	0.12	29	<i>o</i> -Ethyltoluene	0.23
8	Carbon tetrachloride	0.68	30	beta-Pinene	0.18
9	1,2-dichloropropane	0.12	31	1,2,4-trimethylbenzene	0.75
10	Bromodichloro-methane	0.25	32	1,4-dichlorobenzene	0.04
11	Trichloroethylene	0.20	33	<i>n</i> -Decane	2.15
12	Isooctane	1.18	34	1,3,5-trimethylbenzene	0.15
13	<i>n</i> -Heptane	0.13	35	D-Limonene	0.24
14	Methyl isobutyl ketone	0.23	36	Nonanal	7.44
15	Toluene	8.82	37	<i>n</i> -Undecane	0.72
16	Dibromochloromethane	0.16	38	1,2,4,5-tetramethylbenzene	0.20
17	Butyl acetate	0.35	39	Decanal	2.84
18	<i>n</i> -Octane	0.33	40	<i>n</i> -Dodecane	2.44
19	Tetrachloroethylene	0.34	41	<i>n</i> -Tridecane	3.56
20	Ethylbenzene	2.36	42	<i>n</i> -Tetradecane	0.31
21	<i>m,p</i> -Xylene	3.93	43	<i>n</i> -Pentadecane	2.15
22	Styrene	3.81	44	<i>n</i> -Hexadecane	0.80

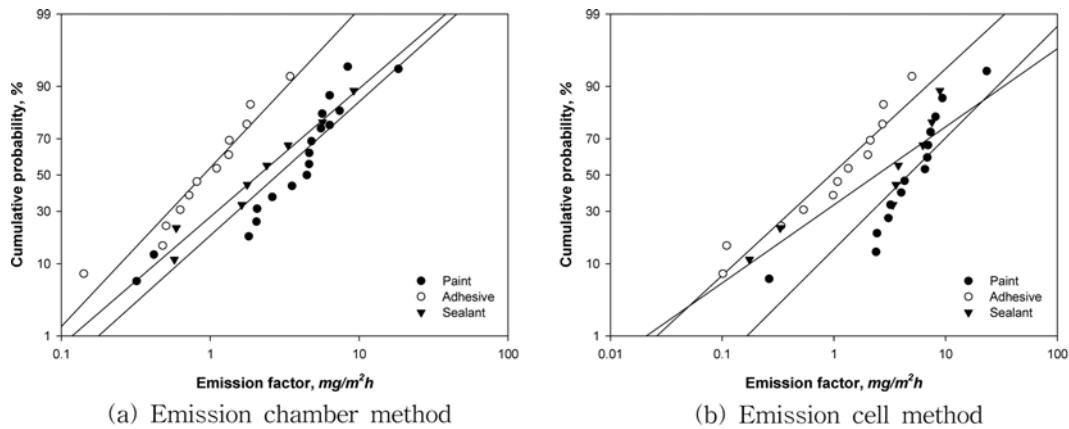


Fig. 5. Distribution of TVOC emission from liquid building materials.

Table 8. TVOC emission from liquid building materials

Building materials	N	Chamber		Cell	
		Mean*	S.D.**	Mean	S.D.
Paint	20	4.487	4.282	6.309	5.567
Adhesive	12	1.179	0.887	1.595	1.432
Sealant	8	3.151	2.957	4.250	3.162
Total	40	3.048	3.428	4.161	4.401

*: Arithmetic mean ($\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$), **: Standard deviation

한 휘발성유기화합물의 방법검출한계는 Table 7에 나타내었다. 휘발성유기화합물의 방법검출한계는 물질에 따라 0.04~8.82 ng 으로 나타났다.

Toluene, *n*-Pentadecane, nonanal 등은 타 물질보다 MDL이 높았으며 *n*-tetradecane, *n*-hexadecane은 각각 0.31과 0.80으로 낮게 나타났다.

3.3. 방출시험 결과

3.3.1. 총휘발성유기화합물의 방출농도 분포

방출챔버와 방출셀을 이용하여 방출시험 시작 3일 후 측정된 페인트, 접착제, 실란트에서 방출되는 총휘발성유기화합물의 농도는 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 대수정규분포(log normal distribution)하였으며 시험방법차이에 따른 방출량 분포의 차이는 크지 않았다.

3.3.2. 방출시험장치 간 방출량 상관관계

방출시험장치에 따른 오염물질 방출량을 비교하기 위하여 소형방출챔버와 방출셀을 이용하여 동시에 3일간 오염물질 방출시험을 실시한 결과 방출셀을 이용하여 오염물질 방출시험을 실시하였을 때, 소형방출챔버를 이용하였을 때보다 약 1.35~1.41배 높은 결과

를 나타내었다(Table 8).

Fig. 6에서 보는 바와 같이 소형방출챔버와 방출셀을 이용한 오염물질 방출시험방법 간에는 페인트, 접착제, 실란트에서 방출되는 총휘발성유기화합물의 상관계수(r)가 약 0.91~0.97의 범위를 보여 높은 상관성이 있는 것으로 조사되었다. 제품별로는 페인트의 경우 상관계수(r) 0.9711로 가장 높게 나타났으며 접착제는 0.93, 실란트는 0.91로 나타났다. 실란트의 경우 시료수가 작고, siloxane 계열의 고분자 물질이 주로 검출되는 제품의 특성 때문에 페인트나 접착제에 비해 상관성이 약간 낮게 나타나는 것으로 추정된다. 방출량 값 외에 두 방법간의 크로마토그램을 비교하였을 때, 유사한 경향을 나타내는 것을 확인하였다(Fig. 7). 소형방출챔버와 방출셀을 이용하여 오염물질 방출량을 비교한 다른 연구에서도 방출셀에서의 결과가 소형방출챔버와 비슷하거나 약간 높게 나타나는 경향을 보여 이 연구의 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있었다.⁹⁻¹¹

4. 결 론

이 연구에서는 액상 건축자재에서 방출되는 오염물

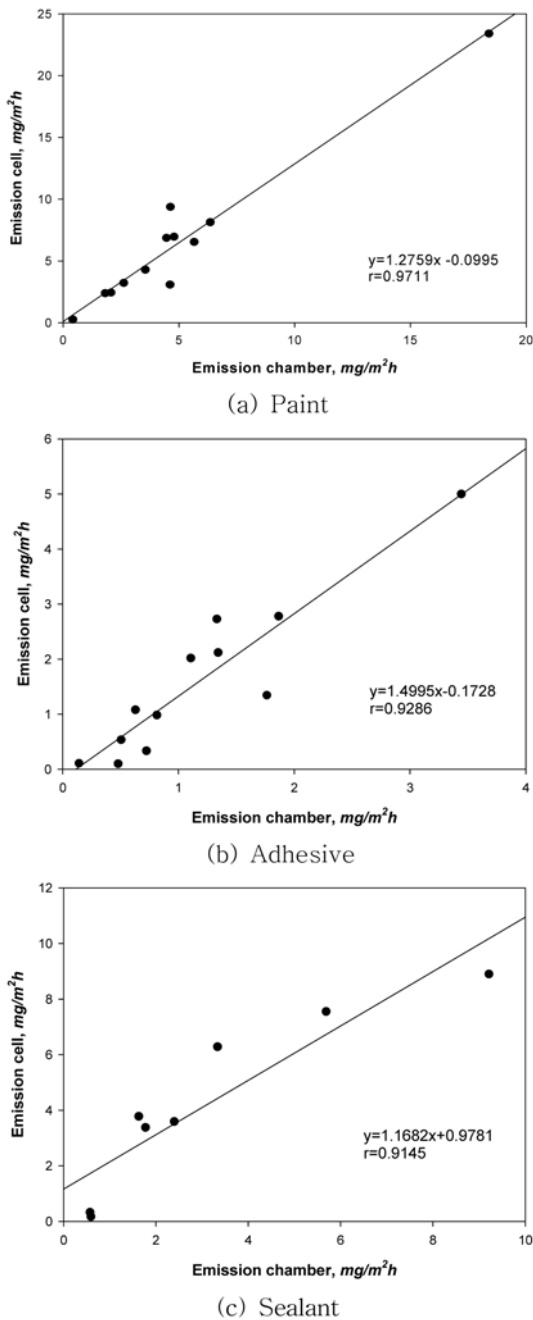


Fig. 6. Correlation of TVOC emission from liquid building materials (paint, adhesive, sealant) using chamber and cell method.

질 시험방법을 최적화하고 시험방법 간의 상관성을 파악하여 방출셀을 이용한 방출시험방법을 정립하여 활용하기 위한 기초자료를 확보하고자 하였다. 소형방

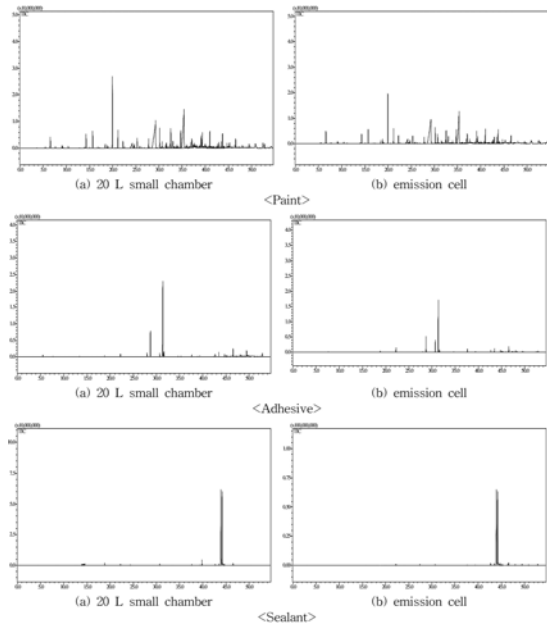


Fig. 7. Chromatogram of samples.

출챔버와 방출셀을 이용한 시험방법의 전반적인 평가를 위해 방출시험장치와 분석장치에 대한 성능 평가를 실시하고 페인트, 접착제 및 실란트등 40여개의 액상 건축자재를 대상으로 방출시험을 실시하였으며 주요 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 소형방출챔버와 방출셀은 각각 총휘발성유기화합물 평균 $7.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 청정한 챔버 내 배경농도를 유지하였으며, 각 장치 모두 매우 기밀하여 방출시험 시 외부 공기의 유입과 챔버 내 공기의 누출이 없어 방출시험에 매우 적합하였음을 확인하였다. 또한 주요 휘발성유기화합물에 대한 회수율 평가 결과 소형방출챔버는 86.8~130.0%, 방출셀은 81.3~128.4% 범위로 방출시험장치 내 오염물질의 흡착과 sink effect가 발생하지 않았음을 확인하였다.

둘째, 주요 휘발성유기화합물에 대한 자동열탈착장치의 회수율은 92.4~123.8%로 나타났으며, 가스크로마토그래프/질량분석기의 체류시간의 재현성은 RSD 0.1% 이하, 감응계수의 재현성은 RSD 13% 이하로 나타났다. 또한, 각 휘발성유기화합물과 카보닐화합물의 방법검출한계는 0.04~8.82 ng으로 나타났다. 이 연구에서 방출시험장치와 분석기기의 조건은 안정적이고 재현성과 감도가 양호하여 액상 건축자재에서 방출되는 오염물질 측정·분석조건은 최적화된다고 볼 수 있었다.

셋째, 소형방출챔버와 방출셀을 이용하여 40개의 액상 건축자재에서 방출되는 총휘발성유기화합물의 방출량을 평가한 결과, 시험방법별 방출량 농도 분포는 대수정규분포 하였으며 시험방법차이에 따른 방출량 분포의 차이는 크지 않았다. 방출셀을 이용한 경우의 총휘발성유기화합물 방출농도가 소형방출챔버에 비해 약 1.35~1.41배 높은 방출량을 나타내었으며 두 시험방법에 의한 결과는 상관계수(r)가 약 0.91~0.97의 범위로 나타나 높은 상관성을 보였다.

방출셀을 이용한 오염물질 방출시험 결과는 실내공기질 공정시험방법에서 제시하고 있는 소형 방출챔버법의 결과와 높은 상관성을 나타내었으므로 이 연구 결과를 토대로 방출셀의 정도관리 기준과 방출기준 적용을 위한 소형챔버법과의 상관계수를 도출한다면 국내에서 소형방출챔버법을 대체할 수 있는 방출시험 방법으로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 장성기, 임정연, 이우석, 서수연, 임준호, 박민규, 류정민, 천재영, 고행건축자재 오염물질 방출시험방법 최적화 연구, 한국실내환경학회 학술지, **3**(3), 298-312(2006).
2. M. Risholm-Sundman, Determination of formaldehyde emission with field and laboratory emission cell (FLEC) - recovery and correlation to the chamber method. *Indoor air*, **9**, 268-272(1999).
3. M. D. Bortoli and A. Colombo, 'European Collaborative Action Report' No. 13. Determination of VOCs emitted from indoor materials and products - Interlaboratory comparison of small chamber measurements. Commission of the European Communities, Joint Research Centre - Institute for the Environment, 1993.
4. M. D. Bortoli, S. Kephelopoulos and H. Knöppel, 'European Collaborative Action Report' No. 16. Determination of VOCs emitted from indoor materials and products - Second interlaboratory comparison of small chamber measurements. European Commission, Joint Research Centre - Environment Institute, 1995.
5. M. D. Bortoli, S. Kephelopoulos, S. Kirchner, H. Schauenburg, H. Vissers, 'European Collaborative Action Report' No. 21. European Inter-laboratory Comparison on VOC emitted from building materials and products. European Commission, Joint Research Centre - Environment Institute, 1999.
6. ISO 16000-9. Indoor air - Part 9 : Determination of the emission of volatile organic compounds - Emission test chamber method. International Organization for Standardization. 2005.
7. ISO 16000-10. Indoor air - Part 10 : Determination of the emission of volatile organic compounds - Emission test cell method. International Organization for Standardization. 2005.
8. ENV 13419-1. Building Products - Determination of the emission of volatile organic compounds - Part 1 : Emission test chamber method. European Committee for Standardization, 1999.
9. O. Jann and O. Wilke, Comparison of FLEC with other climate chambers, German experiences. *International FLEC symposium 2001*, 18-27(2001).
10. R. Funaki and S. Tanabe, Measurements of emission rates from wall covering adhesives - comparing with FLEC and a small scale chamber ADPAC-. *International FLEC symposium 2001*, 65-70(2001).
11. A. Afshari, B. Lundgren and L. E. Ekberg, Comparison of three small chamber test methods for the measurement of VOC emission rates from paint. *Indoor Air*, **13**, 156-165(2003).