

카펫에서 방출되는 VOCs의 방출특성

신 동 민[†], 김 창 녕^{*}, 김 동 술^{**}

경희대학교 기계공학과 대학원, ^{*}경희대학교 기계·산업시스템공학부, ^{**}경희대학교 환경·응용화학부

Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) from a Carpet

Dong Min Shin[†], Chang Nyung Kim^{*}, Dong Sool Kim^{**}

Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea

^{}College of Mechanical & Industrial System Engineering, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea*

*^{**}College of Environment & Applied Chemistry, Kyunghee University, Yongin 449-701, Korea*

(Received July 25, 2002; revision received November 25, 2002)

ABSTRACT: This study has been conducted to identify and quantify the emissions of Volatile Organic Compounds (VOCs) from a new carpet. The carpet sample consists of polypropylene cushion and latex backing. The VOCs have been sampled on sorbent tubes and analyzed by thermal desorption unit and GC/MSD. For over 240 hours, concentration of VOCs has been measured in a small chamber made of stainless steel. With the measured data, emission factor and mass balance have been considered. The experiments have been conducted in accordance with ASTM D5116-97. The carpet has emitted a variety of VOCs, but in this study, 7 VOCs compounds have been considered: chlorobenzene, ethylbenzene, styrene, isopropylbenzene, bromobenzene, 2-chlorotoluene, and 1,2,3-trimethylbenzene. The results show that the concentrations of VOCs and the emission factors have exponentially decayed from relatively high level to low level with time. The gradients of the concentration of VOCs and emission factors are different for various components. It is found that styrene, 2-chlorotoluene are emitted more than others with higher concentrations.

Key words: Carpet(카펫), Emission factor(방출계수), Indoor air quality(IAQ; 실내공기질), Indoor materials(실내재료), Volatile organic compounds(VOCs; 휘발성 유기화합물)

기 호 설 명

A : 방출원의 면적 [m^2]

C : 농도 [$\mu g/m^3$]

EF : 방출계수 [$\mu g/(m^2 \cdot h)$]

ER : 방출률 [$\mu g/h$]

k : 일차 감소율 상수 [$1/h$]

L : 부하율 [m^2/m^3]

M_a : 방출실험챔버 내부공기에 존재되는 VOCs의 총 질량 [μg]

M_E : 실험기간중 방출원에서 방출된 VOCs의 총 질량 [μg]

M_s : 방출실험챔버의 벽면에 흡착된 VOCs의 총 질량 [μg]

M_x : 공기교환흐름을 통해 방출실험챔버 외부로 방출된 VOCs의 총 질량 [μg]

N : 공기교환율 [$1/h$]

Q : 유량 [m^3/s]

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2869; fax: +82-31-202-8106

E-mail address: cnkim@khu.ac.kr

V : 방출실험챔버의 체적 [m^3]

하첨자

- a : 공기 측(air phase)
- B : 실험의 시작시간
- F : 실험의 종료시간
- i : i -번째 시간
- 0 : 초기값

1. 서 론

많은 시간을 실내에서 보내고 있는 현대인들에게는 실내공기질(indoor air quality, 이하 IAQ) 저하가 또 다른 환경문제로 최근 대두되고 있다. IAQ 저하는 오염된 외부공기의 실내유입 또는 실내환기량 부족으로 유발되기도 하며, 주요 실내 공기 오염물질인 라돈(radon), 석면(asbestos), 실내흡연(environmental tobacco smoke, ETS), 납(lead), 미생물(biological contaminants), 포름알데히드(formaldehyde), 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, 이하 VOCs) 등⁽¹⁾에 의해 유발되기도 한다. Molhave⁽²⁾의 연구에 따르면, 비산업 빌딩에서 50에서 300가지의 VOCs 물질들이 존재하며, Sack et al.⁽³⁾은 1,159가지의 실내물질들에서 31가지의 VOCs가 방출되어 실내를 오염시키는 것으로 보고한 바 있다.

이렇게 VOCs에 의해 오염된 실내에서 재실자들은 건물증후군(sick building syndrome, SBS) 뿐만 아니라 장단기적으로 건강상의 위협을 받고 있으며,^(4, 5) 이에 따른 경제적인 손실도 수반된다고 보고되고 있다. 이러한 실내 VOCs 오염원 중의 하나인 카페트는 가정에서부터 사무실 등 다양한 실내환경에서 사용될 뿐만 아니라 비교적 사용면적이 넓으며, 장기간 사용되므로 IAQ에 미치는 영향은 다른 VOCs 오염원에 비하면 크다고 할 수 있다.

국내에 비하여 카페트 문화가 일찍 발달된 미국과 유럽의 선진국에서는 카페트에서 방출되는 VOCs가 IAQ에 미치는 영향에 대하여 오래 전부터 인식되어 왔으며, 이에 대한 많은 연구가 수행되었다. 소형 실험챔버를 통한 방출실험뿐만 아니라 실제의 실내환경과 동일한 대형 실험챔버에서도 방출실험이 수행되었다. 또한, 위의 나라들

에서는 이러한 연구를 바탕으로 재실자, 건축업자, 건물관리자 등에게 VOCs 및 다른 IAQ 저하 물질로부터 IAQ를 개선할 수 있는 방안이 담긴 지침서, 시방서 및 관리법 등이 제안되었다.⁽⁶⁻⁷⁾

이에 비하여 국내에서는 실내공기중의 VOCs 농도 현황을 측정하는 연구는 일부 수행된 바 있으나, 실내 VOCs 방출원 개개에 대한 VOCs 방출 실험은 최근에야 시작되었다. Baek and Fanger⁽⁸⁾은 카페트가 IAQ에 미치는 영향에 대하여 실제 실내환경에서 연구하였으나, VOCs는 측정되지 않았으며 단지 재실자의 설문조사와 온도, 습도 등의 변수를 측정하여 평가하였다. Kim et al.⁽⁹⁾은 챔버실험을 통하여 카페트가 아닌 가구에서 방출되는 VOCs와 포름알데히드의 농도를 측정하였으며, Heo et al.⁽¹⁰⁾은 카페트에서 방출되는 VOCs를 측정하였으나 측정시간이 72시간으로 실험시간이 짧았다. 정부에서도 실내공기질의 중요성을 인식하여 지하공기질관리법이 실내공기질관리법으로 전문개정되어 2003년 7월 시행예정으로 입법 예고되고 있다.

카페트로부터 방출되는 VOCs에 의하여 저하된 실내공기질의 효과적인 개선을 위하여, 본 연구에서는 ASTM D5116-97⁽¹¹⁾ 시험법에 따라 주어진 실험조건 하에서 소형 방출실험챔버가 사용되어 카페트에서 방출되는 VOCs의 농도가 측정되었으며, 측정된 VOCs 농도를 통하여 카페트의 VOCs 방출계수(emission factor)와 실험기간 동안 카페트에서 방출된 VOCs의 총 질량이 산출되었다. 이로부터 카페트의 VOCs 방출특성이 확인되었으며, 향후 본 연구결과가 이용되어 카페트에서 방출되는 VOCs를 예측하기 위한 물질전달 모델이 개발될 것이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험재료 및 실험장치구성

실험에 사용될 카페트는 경기도 일산의 C공장 에서 구입되었다. 카페트는 공장에서 제작 후 1일 이내의 것이 구입되었으며, 카페트 구입 후 6시간 이내에 실험에 사용되었다. 카페트의 섬유재(cushion)와 바닥재(backing)는 폴리프로필렌(polypropylene)으로 구성되었으며, 또한 이 카페트는 섬유재를 바닥재에 고정시키기 위하여 접착재(latex)가 사용되었다. Screening 작업을 통하여 검

Table 1 Physical constants of various organic compounds evaluated

Compounds name	Formula	Weight ^(*)	Boiling point ^(*) [°C]	Vapor pressure at 25°C ^(**) [mmHg]
Chlorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	112.56	131.72	11.8
Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	106.17	136.19	10.0
Styrene	C ₈ H ₈	104.15	145.00	7.3
Isopropylbenzene	C ₉ H ₁₂	120.19	152.41	-
Bromobenzene	C ₆ H ₅ Br	157.01	156.06	4.1
2-Chlorotoluene	C ₇ H ₇ Cl	126.58	159.00	2.8
1,2,3-Trimethylbenzene	C ₉ H ₁₂	120.19	176.12	1.9

^(*) Lide, D. R., 2000, CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC press Inc., 3rd Electronic Edition (81st Edition).

^(**) Rafson, H. J., 1998, Odor and VOC Control Handbook, McGraw-Hill Com. Inc., New York, 2.13-2.24.

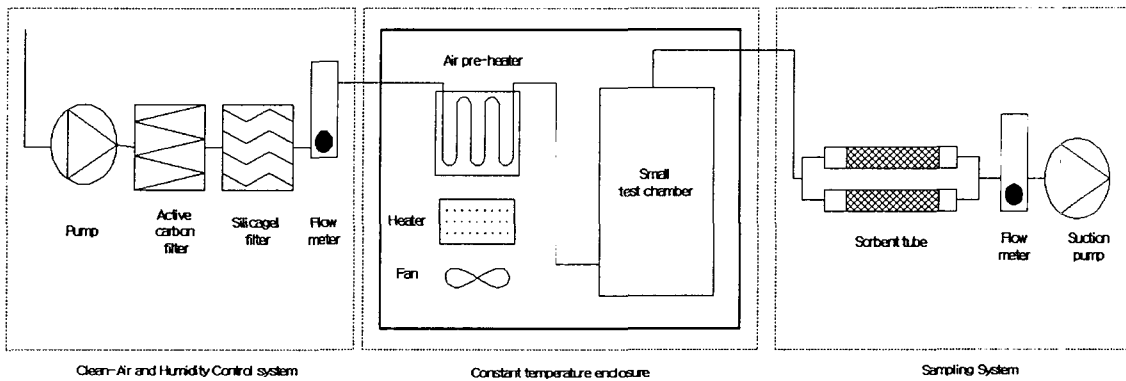


Fig. 1 A schematic diagram of test facilities.

출된 VOCs 중 환경부의 규제대상 물질과 유사한 실험에서 빈번히 검출되었던 물질이 본 연구에서 측정되고 평가될 성분으로 선정되었으며, 이 물질들이 Table 1에 제시되어 있다.

실험장치는 Fig. 1과 같이 공기공급부, 실험챔버부, 계측부의 세 부분으로 구성되었다. 공기공급부는 소형 펌프를 이용하여 방출실험챔버 내부로 대기의 공기를 공급하는 장치로써, 유입되는 공기에 존재할 가능성이 있는 VOCs를 제거하기 위하여 활성탄(active carbon)과 활성탄 섬유가 사용되었다. 또한 외부공기의 급격한 습도변화로 인한 공급공기의 습도변화에 대응하기 위하여 실리카겔이 사용되었다. 실험챔버부는 항온장치와 방출실험챔버로 구성되어 있으며, 항온장치는 방출실험챔버 주위 및 방출실험챔버로 유입되는 공기가 일정한 온도로 유지될 수 있도록 전기히터와 팬으로 구성되었다. 전기히터는 방출실험챔버 내부에 설치된 K-Type 열전대의 온도신호가 이용된 전자식 온도조절기에 의하여 제어된다. 방출실

험챔버는 스테인리스스틸 재질이며, 0.088 m³(88 L)의 크기로 제작되었으며, Fig. 2에 방출실험챔버의 형상이 제시되었다. 방출실험챔버 하단부에

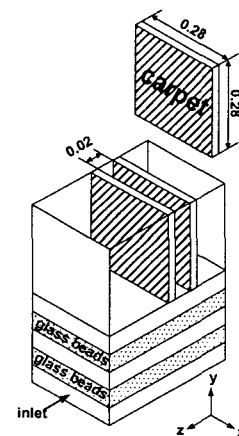


Fig. 2 A schematic diagram of small test chamber.

는 챔버로 유입된 공기가 2단의 유리구슬층을 통과한 후(균일 공기유속 : 0.00017 m/s) 카페트의 하단으로 향하도록 되어 있다. 상단부에는 15장의 카페트(가로 : 0.28 m, 세로 : 0.28 m, 두께 : 0.008 m)가 0.02 m의 균일 간격으로 설치되어 있으며, 이 공간을 통하여 유입된 공기가 이동된다.

2.2 샘플링 및 분석

본 연구에서는 샘플링과정과 분석과정의 신뢰도를 높이고 작업의 표준화 등을 위하여 USEPA TO-17⁽¹²⁾ 표준 시험법이 참고되었다. 흡착관(sorbent tube)과 펌프를 이용한 활성 샘플링 방법이 사용되었다. Pyrex 재질의 유리관에 VOCs 채취용 흡착재(Carbotrap[®], 20~40 mesh, C₄~C₁₄ VOCs 채취용) 500 mg이 충전된 흡착관이 사용되었으며, 샘플링 작업 전, VOCs에 의해 오염되어 있을 가능성이 있는 흡착관을 350°C에서 30분간 고순도 헬륨가스(He, 순도 : 99.9999%)로 80~100 mL/min의 유량으로 purging시킨 후, 흡착관을 재분석하여 오염 여부를 확인하였다. 매회 샘플링에는 2개의 흡착관이 사용되었으며, 샘플링 양은 평균 1.7 ± 0.034 L이었다. 240 시간의 실험기간 동안 샘플링 횟수는 11번이었다.

샘플링된 VOCs의 분석을 위하여 열탈착장치(thermal desorption apparatus, Dynatherm ACEM 900, CDS Analytical, Inc, USA)에서 가열에 의하여 흡착재에 흡착된 VOCs가 탈착된 후, 탈착된 VOCs가 transfer line을 통해 가스크로마토그래피(gas chromatography HP 6980, Hewlett Packard, USA : GC)로 주입되었다. 주입된 시료는 capillary column(Supelco FUSED SILICA SPB-1, length : 60 m, diameter : 320 μm, thickness : 1.0 μm)에 의해 분리된 후 질량검출기(mass selective detector HP 5973, Hewlett Packard, USA : MSD)로서 VOCs의 성분 및 정량이 분석되었다.

2.3 실험절차

방출실험챔버가 계면활성제로 세척된 후, Table 2에 제시된 실험조건(환경변수)들이 정상상태에 도달된 후, 카페트의 VOCs 방출실험이 시작되었다. 실험 시작시, 카페트 시편을 방출실험챔버에 설치하기 위하여 방출실험챔버가 개봉되는데, 이때 외부의 오염된 공기가 방출실험챔버로 유입되

Table 2 Test conditions

Parameter	Value
Temperature [<i>T</i>] (°C)	25±1
Relative humidity [<i>H</i>] (%)	18±1
Flow rate [<i>Q</i>] (L/min)	1.4
Air exchange rate [<i>N</i>] (1/h)	1
Product area [<i>A</i>] (m ²)	1.176
Product loading [<i>L</i>] (m ² /m ³)	13.36
Product age [<i>t</i>] (h)	24

므로 이를 제거하기 위하여 5 L/min로 30분간 공기를 공급한 후 샘플링이 시작되었다. 한편 외부 공기 및 방출실험장치의 기본적인 VOCs 농도를 측정하기 위해서 blank test가 실험기간과 동일한 240시간 동안 실시되었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 카페트에서 방출되는 VOCs의 농도

전반적으로 실험 초기에는 상대적으로 고농도 범위에서 VOCs가 측정되었으나, 시간이 진행됨에 따라서 지수 감소의 형태로 저농도에 도달되는 방출경향이 보인다. 이러한 방출경향은 서론에서 언급되었던 다른 연구자들에 의해 수행된 유사한 방식의 카페트 VOCs 방출실험 결과와 유사하다. 시간에 따른 방출실험챔버 출구에서 측정된 각 성분의 VOCs 농도(2개 흡착관의 평균 ± 표준편차)와 TVOCs의 농도(2개 흡착관의 평균 ± 표준편차)가 Fig. 3에 제시되었다. 방출 초기에는 7가지 성분 중에서 styrene의 농도가 가장 높고, chlorobenzene의 농도가 가장 낮았다.

이러한 초기농도를 시작으로 VOCs 방출경향은 지수 감소의 형태를 보이고 있으나, 각 성분간의 감소경향을 나타내는 time constant들은 차이가 있다. Chlorobenzene, ethylbenzene, isopropylbenzene, bromobenzene, 1,2,3-trimethylbenzene에 대하여 Fig. 3의 (a), (b), (d), (e), (g) 그래프 상에서 농도의 초기 감소율이 급격함을 보인다. 이를 정량적인 형태로 표현하기 위하여 초기농도의 절반이 측정되는 시간(반감기)을 찾아보면, 위의 5가지 성분에 대하여 모두 12시간 이하로(본 연구에서는 2번째 샘플링 시점) 나타난다. 나머지 2성분인 styrene, 2-Chlorotoluene은 Fig. 3의 (c), (f)

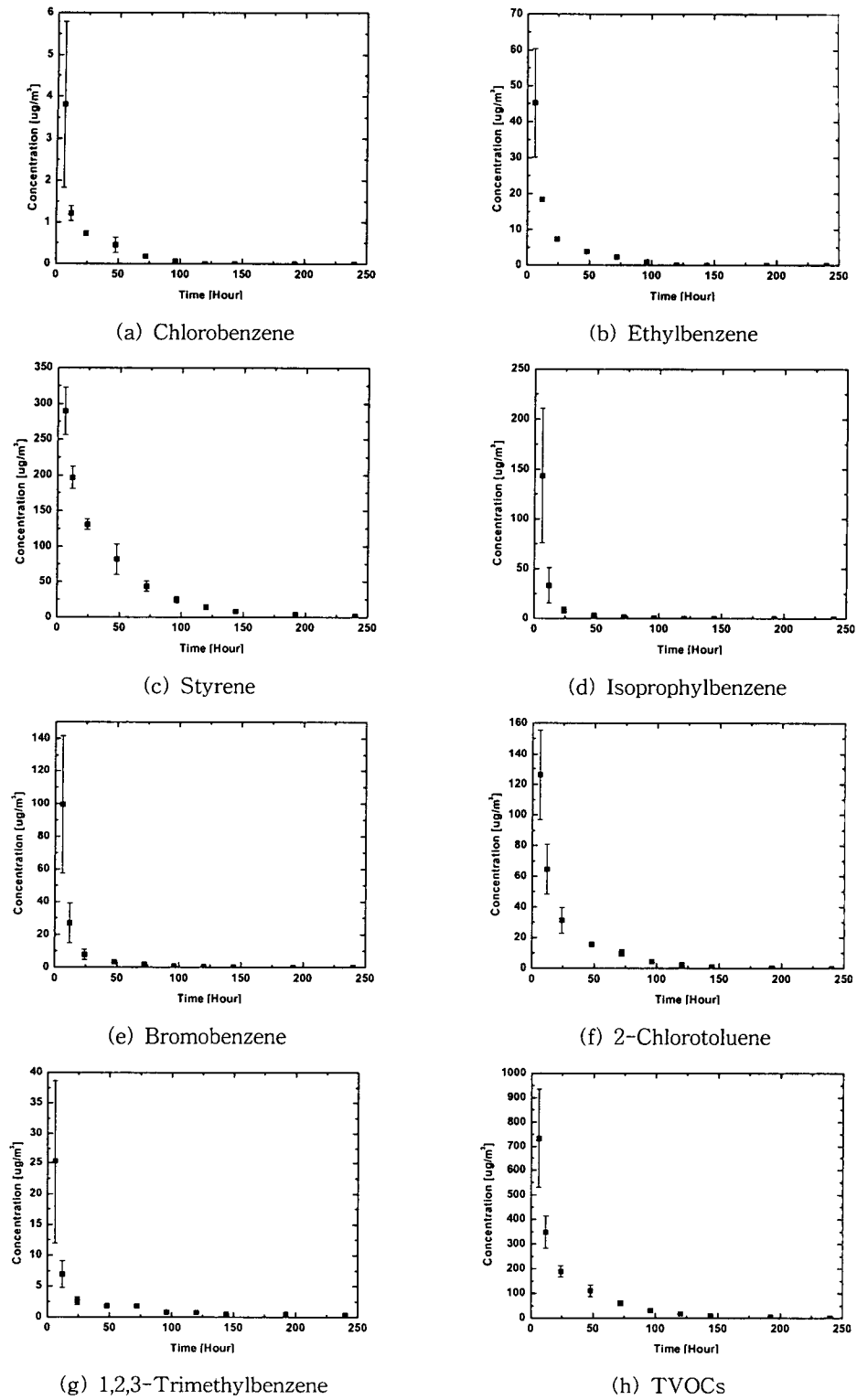


Fig. 3 Concentration of each VOC.

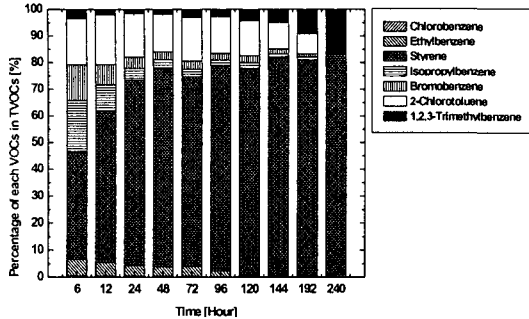


Fig. 4 The percentage of each VOC.

그래프 상에서 반감기가 12시간 이후에 나타나는 것을 보이고 있다. 또한, 각 성분간의 농도 감소 경향과 Table 1에 주어진 물성치(분자량, 끓는점, 증기압)와의 연관성은 발견되지 않는다. ASTM D5116-97,⁽¹¹⁾ Yang et al.⁽¹³⁾는 건자재(dry-material)의 VOCs 방출 메커니즘이 증기압 차가 아닌 확산에 의해 주도된다고 언급하였는데, 이는 실험결과를 통하여 확인될 수 있었다.

실험 초기 시간대와 시간이 경과된 때의 성분별 방출량 비율은 변화되며, 시간이 어느 정도 경과된 후에는 Styrene, 2-chlorotoluene의 방출량의 비율이 높다는 것이 TVOCs의 시간에 따른 성분별 구성비를 나타낸 Fig. 4에서 확인된다.

3.2 카페트에서 방출되는 VOCs의 방출계수

방출률(emission rate)과 방출계수(emission factor)는 카페트의 VOCs 방출특성을 나타내기 위하여 일반적으로 사용되는 척도이다. 방출률과 방출계수 사이의 관계는 식(1)과 같다.

$$ER = A \cdot (EF) \quad (1)$$

방출계수산출법은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 ASTM D5116-97⁽¹¹⁾에 제시된 직접계산법(direct calculation)과 explicit chamber model의 일차감소모델(first order decay source model)이 사용되었다.

3.2.1 Case 1 : 직접계산법

실험에 의해 측정된 농도와 시간 사이의 직접적인 관계를 이용하여 방출계수가 산출되는 방법이다.

$$EF(t_i) = \frac{\frac{\Delta C_{a,i}}{\Delta t_i} + N \cdot C_{a,i}}{L} \quad (2)$$

식(2)의 $\Delta C_{a,i}/\Delta t_i$ 는 식(3)으로 표현된다.

$$\frac{\Delta C_{a,i}}{\Delta t_i} = \frac{\frac{C_{a,i} - C_{a,i-1}}{t_i - t_{i-1}} + \frac{C_{a,i+1} - C_{a,i}}{t_{i+1} - t_i}}{2} \quad (3)$$

3.2.2 Case 2 : 일차감소모델

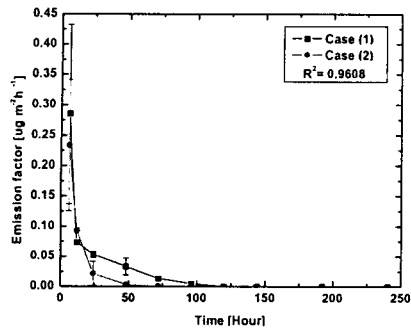
카페트의 VOCs 방출경향을 지수함수로 수학적으로 표현되는 것이 가능하므로, 카페트에서 방출되는 VOCs는 지수함수를 이용한 일차감소 방출원(first order decay source)이라 가정될 수 있다. 이러한 가정 하에 방출계수가 산출되는 방법이 일차감소모델이며, 방출계수는 식(4)로부터 얻어진다.

$$EF = (EF_0) e^{-k \cdot t} \quad (4)$$

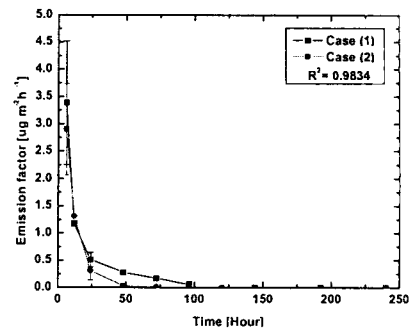
이 식에서 방출계수가 산출되기 위해서는 EF_0 와 k 가 결정되어야 한다. 이를 위해서 카페트의 VOCs 방출에 대한 챔버모델(corresponding chamber model)인 식(5)의 형태로 각 성분의 농도에 대하여 비선형회귀분석이 실시된다.

$$C_a = \frac{L(EF_0)(e^{-k \cdot t} - e^{-N \cdot t})}{N - k} \quad (5)$$

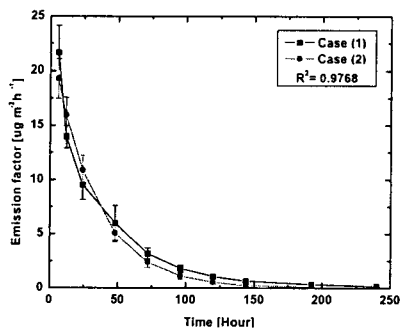
방출계수는 방출실험챔버 출구에서 측정된 VOCs 농도로부터 산출되므로, 농도변화는 방출계수 산출에 많은 영향을 미친다. 따라서, 전반적인 방출계수의 경향 역시 농도변화의 특성과 유사하게 지수 감소하는 경향을 나타내고 있다. 방출 초기농도 기준으로 가장 높은 농도를 보이는 styrene의 경우에 가장 큰 초기 방출계수값이 산출되었으며, 가장 낮은 농도를 보이는 chlorobenzene의 경우 가장 낮은 초기 방출계수값이 산출되었다. 각 성분의 방출계수 감소경향은 농도변화와 마찬가지로 성분간의 차이를 보이고 있으며, 주어진 물성치와는 연관성을 찾을 수 없다. 이러한 방출특성은 Fig. 5에 제시된 각 성분과 TVOCs의 직



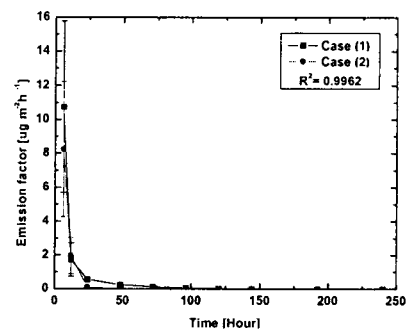
(a) Chlorobenzene



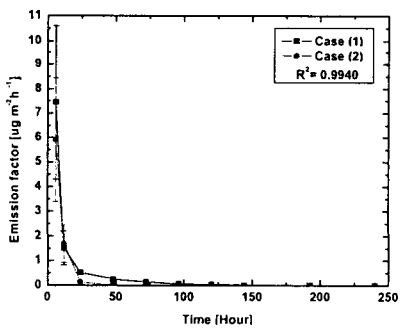
(b) Ethylbenzene



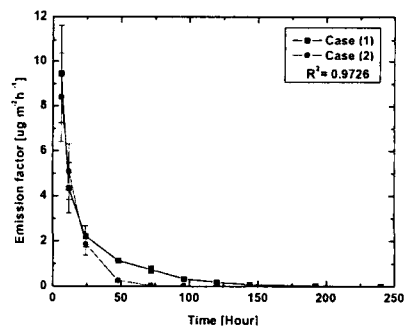
(c) Styrene



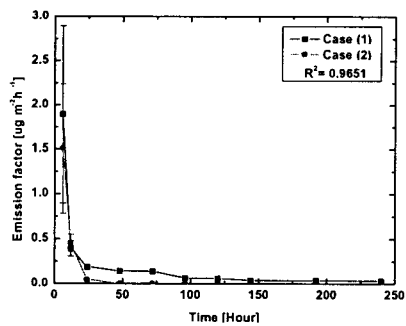
(d) Isopropylbenzene



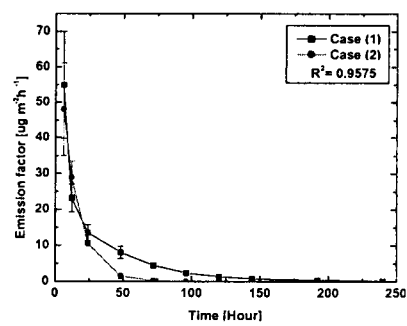
(e) Bromobenzene



(f) 2-Chlorotoluene



(g) 1,2,3-Trimethylbenzene



(h) TVOCs

Fig. 5 Emission factor of each VOC; (1) for direct calculation and (2) for first order decay model.

접계산법 방출계수 (EF : 평균±표준편차)와 일차 감소모델 방출계수 (EF : 평균±표준편차)를 통하여 확인된다. 일차감소모델에서는 식(5)의 비선형 회귀분석과정에서 결정계수 R^2 가 고려되는데 모든 성분들에서는 결정계수가 0.95 이상으로 높아 본 실험결과가 위의 일차감소모델로 잘 설명됨을 보이고 있다.

본 연구에서 사용된 카펫의 VOCs 방출 위해성이 평가되기 위하여 미국 CRI(Carpet and Rug Institute)의 권고기준이 적용되었다(국내 기준은 없다). CRI에서는 ASTM D5116-97⁽¹¹⁾ 시험법을 통하여 산출된 TVOCs의 방출계수가 $500 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 이하가 되도록 권고하고 있다. 본 연구에서 가장 높은 TVOCs 방출계수가 실험 초기에 $55 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 부근이므로 CRI 권고기준이 만족된다. 이처럼 다른 종류의 카펫에 대하여도 VOCs의 위해성이 평가되어야 할 것이다. 이러한 실험결과를 통하여 제품에 대한 인증제도가 도입되고 인증된 제품에 대한 데이터베이스가 구축되어, 소비자가 제품을 선택할 때 참고될 수 있도록 해야 할 것이다.

3.3 질량수지

실험기간 중 카펫로부터 방출된 VOCs의 질량수지(mass balance)가 ASTM D5116-97⁽¹¹⁾에서 제시된 식(6)으로 평가되었다.

$$M_E = (M_{a,F} - M_{a,B}) + (M_{s,F} - M_{s,B}) + M_x \quad (6)$$

방출실험챔버 벽면에 흡착되는 질량($M_{s,F}$, $M_{s,B}$)은 없고, 실험 초기 방출실험챔버 내의 VOCs 농도($M_{a,B}$)가 "0"으로 가정되면 식(7)이 유도된다.

$$M_E = M_{a,F} + M_x \quad (7)$$

식(7)의 우변 첫번째 항은 방출실험챔버 출구로 유출되는 VOCs의 질량으로 식(8)로 표현될 수 있다.

$$M_{a,F} = C_{a,F} \cdot V \quad (8)$$

식(7)의 우변 두번째 항은 방출실험챔버에 남아

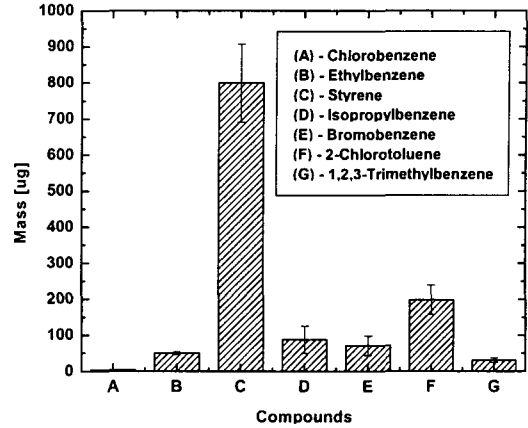


Fig. 6 Total mass emission of each VOC.

있는 VOCs의 질량으로 식(9)로 표현될 수 있다.

$$M_x = S \cdot Q \quad (9)$$

여기서 S 는 식(10)과 같다.

$$S = \sum \left[\frac{(C_{a,i} + C_{a,i+1})(t_{i+1} - t_i)}{2} \right] \quad (10)$$

다른 성분에 비하여 styrene, 2-chlorotoluene의 성분이 비교적 많이 방출되는데, 이는 실험기간 동안 방출된 총 질량인(평균±표준편차)로 표현된 Fig. 6에 제시되어 있다. 특히 다른 6가지 성분의 총 질량보다 styrene의 총 질량이 많다(TVOCs 총 질량의 64%를 차지한다). 총 질량의 방출경향 역시 농도, 방출계수와 마찬가지로 물성치와의 연관성을 찾을 수 없다.

반감기가 12시간 부근으로 방출농도 감소가 빠른 성분들(chlorobenzene, ethylbenzene, isopropylbenzene, bromobenzene, 1,2,3-trimethylbenzene)은 각각 10% 이내의 TVOCs 총 질량을 차지한다. 초기농도와 총 질량 방출 사이의 연관성은 발견되지 않으나, 초기농도와 감소경향에 따라 총 질량 방출의 변화가 발견되었다.

4. 결 론

실내공기 중의 VOCs로 인하여 건강상의 문제가 유발되며, 이로 인한 경제적 손실이 동반된다. 따라서 본 연구에서는 실내 VOCs 방출원에

큰 비중을 차지하는 카페트에서 방출되는 VOCs 성분의 정량적인 평가를 위하여 실험장치가 구성되었으며, ASTM D5116-97 시험법에 따라 실험이 수행되었다. 측정된 농도로부터 방출계수가 각각 직접계산법과 일차감소모델에 의해 산출되었으며, 실험챔버에 남아 있는 질량과 방출된 질량의 합으로 실험기간 동안 방출된 총 질량이 계산되었다.

본 연구에서 사용된 카페트에서는 chlorobenzene, ethylbenzene, styrene, isopropylbenzene, bromobenzene, 2-chlorotoluene, 1,2,3-trimethylbenzene의 7가지 성분에 대한 정량적인 분석이 실시되었다. Styrene, 2-chlorotoluene이 높은 농도로 방출되며, 많은 질량이 방출되었다.

카페트에서 방출되는 VOCs의 농도와 방출계수는 초기에 상대적으로 높은 범위에서 시작되어 시간이 진행됨에 따라 점차 지수 감소하는 형태로 낮은 범위에 도달되는 것을 보이고 있으며, 각 성분간의 농도 및 방출계수 감소경향이 차이를 보이고 있다. 이러한 성분별 방출경향과 분자량, 끓는점, 증기압과의 연관성은 발견되지 않는다.

카페트에서 방출되는 각 물질의 농도는 카페트 내부에서의 각 물질의 확산계수, 초기농도, 분배계수(partition coefficient) 등에 의하여 지배받는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서 측정된 농도로부터 각 물질의 방출특성에 대한 모델링이 요구된다.

후 기

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단(과제번호 : KRF-2001-005-E0004)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- USEPA(United States Environmental Protection Agency), 1995, Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality, EPA 402-K-93-007, USEPA, Washington DC.
- Molhave, L., 1990, Volatile organic compounds, indoor air quality and health, Proc. of the fifth international conference on indoor air quality and climate, Toronto Canada, Vol. 5, pp. 15-33.
- Sack, T. M., Steele, D. H., Hammerstrom, K. and Remmers, J., 1992, A survey of household products for volatile organic compounds, Atmospheric Environment, Vol. 26, No. 6, pp. 1063-1070.
- Tepper, J. S., Moser, V. C., Costa, D. L., Mason, M. A., Roache, N., Guo, Z. and Dyer, R. S., 1995, Toxicological and chemical evaluation of emission from carpet samples, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 56, pp. 158-170.
- USEPA(United States Environmental Protection Agency), 1991, Sick Building Syndrome, EPA 402-F-94-004, USEPA, Washington DC.
- USEPA(United States Environmental Protection Agency), 1991, Building Air Quality: A Guide for Building Owners and Facility Managers, EPA 402-F-91-102, USEPA, Washington DC.
- USEPA(United States Environmental Protection Agency), 1997, An Office Building Occupant's Guide to Indoor Air Quality, EPA.
- Baek, Y. K. and Fanger, P. O., 1999, Impact of emissions from a carpet on perceived air quality, Journal of KIBS, Vol. 2, No. 2, pp. 113-118.
- Kim, S. D., Seo, B. R. and Yoon, J. S., 2001, A study on volatile organic compounds (VOCs) and formaldehyde (HCHO) emission characteristics from furniture, Proc. of the 32nd meeting of KOSAE, pp. 163-164.
- Heo, K. S., Lee, J. H., Hwang, S. M. and Lee, D. Y., 2002, Measurement and analysis of volatile organic compounds (VOCs) emission from building products, Proc. of the 33rd meeting of KOSAE, pp. 179-180.
- ASTM D5116-97, 1997, Standard guide for small-scale environmental chamber determination of organic emissions from indoor materials/products, ASTM D5116-97. ASTM (American Society for Testing and Materials).
- USEPA TO-17, 1999, Determination of volatile organic compounds in ambient air using

active sampling onto sorbent tubes, EPA/625/r-96/010b, 2nd ed., Center for environmental research information office of research and development United States Environmental Protection Agency, Cincinnati.

13. Yang, X., Chen, Q., Zhang, J. S., Magee, R., Zeng, J. and Shaw, C. Y., 2001, Numerical simulation of VOC emissions from dry materials, Building and Environment, Vol. 36, pp. 1099-1107.