

## 바닥재로부터 방출되는 휘발성유기화합물과 폼알데하이드 특성

### Characteristics of VOCs and Formaldehyde Emitted from Floorings

박현주 · 장성기\* · 서수연 · 임준호

국립환경과학원 실내환경과

(2008년 9월 23일 접수, 2009년 2월 11일 채택)

Hyun-Ju Park, Seong-Ki Jang\*, Soo-Yun Seo and Jun-Ho Lim  
*Indoor Air Quality Division, National Institute of Environmental Research*

(Received 23 September 2008, accepted 11 February 2009)

#### Abstract

Since the seventies and the oil crisis, energy-saving measures have led to a reduction in the ventilation of room. The use of synthetic materials which emit various chemical substances had led to an increase in the concentration of indoor pollutants. "Sick building syndrome (SBS)" and "Sick house syndrome (SHS)" are worldwide problems. Also, the number of complaints about indoor air pollution caused by VOCs (Volatile organic compound) and HCHO (Formaldehyde) has increased. It is important that evaluating and understanding emission of indoor air pollutant from building materials. The object of this study was to evaluate emission test method for flooring such as wood based flooring, carpet tile, rubber tile, PVC sheet and tile, and to determine emission of TVOC and formaldehyde. The quantity of TVOC and carbonyl compounds emission were sampled and measured by Tenax TA and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MSD), 2,4-DNPH cartridge with ozone scrubber and high performance liquid from flooring. The TVOC concentration emitted from carpet tile was (7.419 mg/m<sup>2</sup> h) the highest among 5 groups of test materials. In wood based flooring and PVC tile, the emitted concentration of toluene was high. And the dodecane emission was highest in carpet. The concentration of TVOC decreased by an increase in emission test period. After 7 days, the concentration of TVOC from floorings were about 50% below of the concentration at the first day.

TVOC emission from wood based flooring, carpet tile, rubber tile, PVC sheet and tile were decreased in 28 days and remained steady after about 15 days. The concentration of formaldehyde emission from floorings showed extremely low.

**Key words** : Small chamber, TVOC, Formaldehyde, Flooring

---

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)32-560-7325, E-mail : skjang@me.go.kr

## 1. 서 론

실내공간에서 생활하는 시간이 증가함에 따라 과거에는 발생되지 않았던 질병인 건물 증후군이나 새집증후군, 화학물질과민증이 세계적으로 발생되고 있다. 이러한 실내공기질 오염의 주원인은 실외 공기의 유입과 적은 환기 횟수, 실내건축자재로부터 오염물질 방출, 사람들 활동 등이며 이중 복합 화학물질로 구성되어 있는 실내건축자재에서 휘발성유기화합물, 폼알데하이드 등의 오염물질이 방출되고 있다. 이러한 오염물질은 실내 거주자에게 많은 악영향을 미치고(Baek and Jenkins, 2001; Andersson *et al.*, 1997; Baek *et al.*, 1997), 실내공간에서 넓은 농도로 분포하여 체계적인 관리가 어려우며(Baek and Jenkins, 2001; 신혜수 등, 1993), 그 피해가 급증하고 있기 때문에 실내 건축자재로부터 방출되는 휘발성유기화합물 특성에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다(이석조 등, 2005; 김신도 등, 2004). 미국, 핀란드, 캐나다, 일본, 독일 등의 경우, 건축자재에 대하여 친환경인증 및 등급을 부여하여 건축자재로부터 방출되는 오염물질을 관리하고 있다. 외국에서 사용되는 방출시험 방법은 소형방출 챔버법과 FLEC 방법으로 ASTM (American Society for Testing and Materials) D5116-97, JIS (Japanese Industrial Standard) A 1901, ENV (European prestandard) 13419-1, 13419-2, ISO (International Organization for Standardization) 16000-9, 16000-10 등에 규정되어 있다. 또한 국내에서는 환경부가 2004년부터 오염물질이 많이 방출되는 건축자재의 경우 실내 사용을 제한하고 있다.

실내에서 사용되는 액체 건축자재는 페인트, 접착제, 실란트, 퍼티로 구분하며, 고체 건축자재는 롤 상태의 제품과 판형인 판, 판넬 및 보드로 구분된다. 특히 우리나라는 주거 특성상 온돌 생활로 바닥재에 높은 관심을 보이고 있으며 2005년 12월 기준으로 실내건축자재 중 바닥재가 약 1조 원의 시장 규모를 갖고 있음에 따라 바닥재로부터 방출되는 오염물질의 특성을 파악하여 관리하는 것이 급선무가 되었다. 따라서 본 연구는 고체 건축자재 중 국내에서 유통되는 일부 바닥재의 방출되는 휘발성유기화합물과 폼알데하이드의 방출 특성을 파악하고 28일간 기간별 방출량 변화를 연구하고 그 추이를 파악하였다.

본 연구결과는 바닥재 오염물질 특성을 파악하여 방출기준을 설정하는 데 기초 자료로 제시될 것이다.

## 2. 연구 및 방법

### 2.1 연구 방법

본 연구는 2006년 1월부터 2007년 8월까지 105개 바닥재를 대상으로 소형방출챔버를 이용하여 총휘발성유기화합물과 폼알데하이드의 방출특성 관찰 실험을 수행하였다.

대상 바닥재의 구분은 구성성분에 따라 마루재, PVC, 고무, 카펫으로 분류하였다. 일반적으로 마루재는 원목을 가공하거나 폐목재의 물리적인 가공을 통해 제작되며 가공 방법에 따라 강화마루, 원목마루, 합판마루로 구분된다. PVC를 주재료로 한 바닥재는 장판과 타일형태로 제작되고 구성 성분은 PVC 수지와 유리 섬유, PVC 칩이며 접합은 전면 또는 접착제를 사용하여 접합한다. 고무타일은 합성고무를 소재로 다양한 보강제를 첨가하여 내마모성이 요구되는 장소에 시공하고 있으며 카펫타일은 직물 타입의 직포에 나일론, 폴리에스터 등의 섬유를 부착하여 생산된다. 이러한 재료 특성에 따라 실험 바닥재를 구분하여 표 1에 나타냈으며 105개 중 10개의 바닥재는 28일간 방출시험을 통하여 기간별 오염물질 특성을 살펴보았으며 그 외 95개 시료는 실내 공기질 공정시험기준에 따라 7일 후 방출 농도를 측정하였다.

### 2.2 시험 장치

연구에서 사용된 방출시험방법은 실내공기질 공정시험기준에 준하여 소형챔버법을 이용하였으며 챔버 내의 공기농도와 챔버를 통과하는 공기의 적산유량,

Table 1. Building materials for emission test.

No.	Floorings	Emission test period	
		7 days	28 days
1	Wood based	17	3
2	PVC	49	3
3	Rubber	17	2
4	Carpet	12	2
Total floorings		95	10
		105	

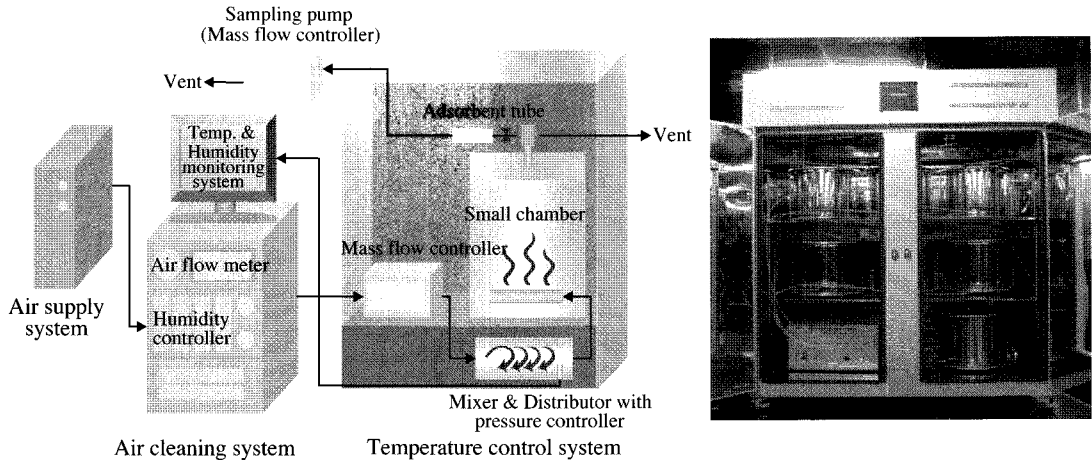


Fig. 1. Schematic diagram of emission chamber system.

시험편의 표면적을 구하여 시험대상인 건축 재료의 단위면적당 휘발성유기화합물 및 폼알데하이드 방출량을 측정하였다(환경부, 2008).

소형방출챔버장치의 구성은 공기공급장치, 공기청정장치, 습도조절장치, 항온조, 소형방출챔버, 자동유량조절장치로 구성되어 있으며 소형방출챔버는 20 L 스테인리스강(Stainless Steel)으로 제작되었다(그림 1). 챔버 내부의 온도와 습도는  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 5\%$ 이며 실험이 이루어지는 동안 모니터링 하였다(ISO 16000-9. Indoor air, 2005; ASTM D 6330-98, 2003). 챔버 내부에 설치되는 시험편 한 개 노출면적은 약  $216 \text{ cm}^2$  ( $147 \text{ mm} \times 147 \text{ mm}$ )이며 소형방출챔버의 중앙에 두 개의 시험편을 각각 노출면이 반대방향이 되도록 설치하고 챔버 내로 유입되는 공기가 시험편의 노출면 위에 균일하게 흐르도록 하였다. 이때 소형방출챔버 내 시료부하율은  $2.16 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 으로 챔버 내 환기횟수는 유입유량을  $167 \text{ mL}/\text{min}$ 로 조절하여  $0.5 \pm 0.05/\text{h}$ 가 유지되도록 하였다. 또한 공기정화장치를 통과하여 챔버 내부로 공급되는 공기는 실내공기질 공정시험기준의 배경농도인 총휘발성유기화합물  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하, 폼알데하이드  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 유지되도록 하였다.

### 2. 3 시료채취 및 분석 방법

시료의 채취는 자동유량조절장치가 장착된 시료채취용 펌프를 이용하여 방출챔버 내로 유입되는 총

유량의 80% 이하로 채취하였다. 이때 휘발성유기화합물은 Tenax-TA가 충전된 고체흡착관(Supelco, USA)을 이용하여 방출 챔버에서  $130 \text{ mL}/\text{min}$ 의 유량으로 25분간 채취하였으며, 열탈착장치(TD)와 가스크로마토그래피/질량분석기(GC/MSD)로 분석하였으며 분석 조건은 표 2와 같다. 총휘발성유기화합물은 액체표준물질(Japanese indoor air standards mix, Supelco)을 사용하여 가스크로마토그래프에서 크로마토그램상의 n-헥산에서 n-헥사데칸(n-Hexane ~ n-Hexadecane :  $\text{C}_6 \sim \text{C}_{16}$ ) 사이에 검출되는 휘발성유기화합물을 대상으로 하였으며 이들의 면적을 합하여 톨루엔 검량선식으로 환산하여 정량하였다. 또한 폼알데하이드를 채취한 DNPH-카트리지는 아세토니트릴  $5 \text{ mL}$ 로 추출하여 고성능액체크로마토그래피(HPLC)를 이용하여 분석하고 Carbonyl-DNPH mix 1 표준용액을 사용하여 5단계( $0.02 \mu\text{g}/\text{mL}$ ,  $0.03 \mu\text{g}/\text{mL}$ ,  $0.04 \mu\text{g}/\text{mL}$ ,  $0.12 \mu\text{g}/\text{mL}$ ,  $0.20 \mu\text{g}/\text{mL}$ )의 농도수준으로 작성하여 정량 분석하였다.

### 2. 4 분석기기 성능 평가

시험 기간 동안 소형방출시험 장치의 성능 평가와 분석 기기의 성능평가를 수행하였다. 성능평가 항목은 소형방출챔버 회수율과 분석기기의 회수율, 분석기기의 재현성, 방법검출한계로 구분하여 평가하였다.

소형방출챔버의 회수율은 일정한 농도의 혼합 휘

**Table 2. Operating conditions of thermal desorber, GC/MSD and HPLC.**

Thermal desorber			
Parameter	Condition	Parameter	Condition
Instrument	Shmadzu, TD-20, Japan	Trap high temp.	280°C
Desorption time	15 min	Trap packing	Tenax-TA
Desorption temp.	280°C	Valve temperature	250°C
Trap cooling temp.	-20°C	Transfer line temp.	250°C
GC/MSD			
Parameter	Condition	Parameter	Condition
GC instrument	Shimadzu, GC-2010, Japan	Detector type	EI (Quadrupole), 70 eV
GC/MS instrument	Shimadzu, GCMS-QP2010plus Japan	Mass range	35 ~ 350 amu
GC column	VB-1 (0.25 mm, 60 m, 1.0 μm)	Initial temp.	40°C (4 min)
Column flow	1.5 mL/min	Oven temp. rate 1	4°C/min (40 ~ 230°C)
Split ratio	10 : 1	Oven temp. rate 2	20°C/min (230 ~ 280°C)
MS source temp.	200°C	Final temp.	280°C (10 min)
HPLC			
Parameter	Condition	Parameter	Condition
HPLC instrument	Waters Alliance 2695, U.S.A		0 ~ 3 min : 60/40
Detector	Waters 2487 Dual absorbance		3 ~ 8 min : 80/20
Column	C18 (150 mm × 4.6 mm × 3.5 μm)	Gradient elution	8 ~ 10 min : 100/0
Mobile phase	Acetonitrile (A) / Water (B)		10 ~ 20 min : 60/40

**Table 3. Recovery of thermal desorber for VOCs.**

Compounds	Chamber recovery (%)	TD recovery (%)	R.T. RSD (%)	R.F	MDL
Benzene	130.0	92.4	<0.1	0.10	2.75 ng
Toluene	103.7	113.3	<0.1	0.11	0.86 ng
Ethylbenzene	95.6	120.2	<0.1	0.10	1.06 ng
<i>m,p</i> -Xylene	93.5	105.2	<0.1	0.11	1.89 ng
Styrene	89.6	105.3	<0.1	0.14	1.11 ng
<i>n</i> -Dodecane	86.8	111.1	<0.1	0.11	1.06 ng
Formaldehyde	104.9	-	0.5	1.8	0.0013 μg/mL

발성유기화합물을 발생시켜 챔버 내부로 유입시킨 후 일정 시간이 경과된 후 평가하였으며 그 결과, 86.8 ~ 130%로 나타났다 (표 3). 분석기기의 회수율 평가는 4회 반복 분석하여 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 스티렌, 도데칸이 자동열탈착장치에 대해 92.4 ~ 120%의 회수율을 보여 비교적 양호하였다. 가스크로마토그래프/질량분석기(GC/MSD)의 재현성을 파악하기 위해 감응계수(Response Factor)와 체류시간(Retention Time)에 대한 상대표준편차(Relative Standard Deviation, %)를 구하였다. 수행 방법은 휘발성유기화합물 표준물질을 5단계 농도수준으로 고체흡착관에 주입하여 열탈착 전처리 후 3회 분석하였으며 체류시간의 RSD가 0.1% 이하, 감응계수의 RSD가 30% 이하

로 확인되었다. 또한 휘발성유기화합물의 방법검출한계는 물질에 따라 0.04 ~ 8.82 ng으로 나타났다(EPA TO-17, 1999). 폼알데하이드는 감응계수와 체류시간이 각각 0.5%, 1.8로 나타났으며 방법검출한계는 0.0013 μg/mL이었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 휘발성유기화합물 방출 농도 특성

국내에서 유통되는 일부 바닥재를 마루재, PVC(타일, 장판), 고무타일, 카펫타일로 바닥재를 구분하여 105개 중 95개를 7일간 소형방출챔버를 이용하

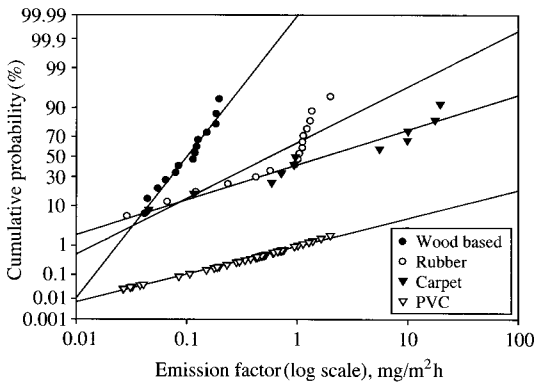


Fig. 2. Distribution of TVOC from each group of floorings.

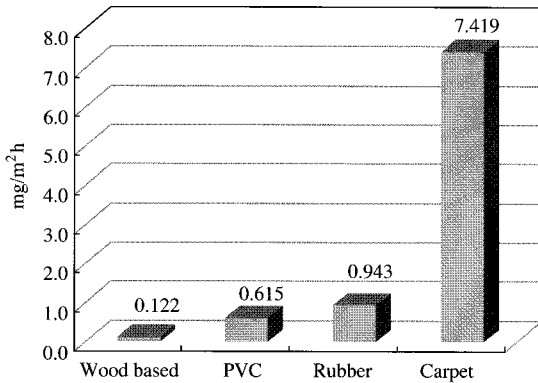


Fig. 3. Comparison of TVOC concentration from floorings.

여 실험하였다. 바닥재를 구성 재료에 따라 4가지로 분류하여 총휘발성유기화합물의 방출량 분포를 살펴본 결과 고무타일을 제외한 바닥재에서 대수정규분포가 나타났으며 PVC(타일, 장판), 카펫타일은 0.045 ~ 22.8 mg/m<sup>2</sup>h로 비교적 넓은 농도 범위로 방출량이 분포하고 있다(그림 2).

특히 그림 3에서 보는 바와 같이 카펫타일에서는 가장 높은 방출 농도인 7.419 mg/m<sup>2</sup>h를 나타내었으며 마루재의 경우 낮은 방출량(0.122 mg/m<sup>2</sup>h)에서 좁은 범위로 분포로 확인되어 바닥재 종류별로 TVOC 방출량이 상이하게 나타났다.

### 3.2 주요 방출 휘발성유기화합물의 특성

바닥재에서 방출되는 휘발성유기화합물을 파악하

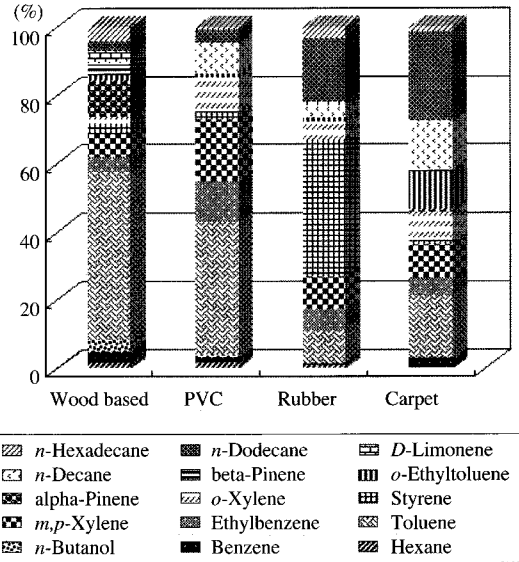


Fig. 4. Component ratio of TVOC emitted from flooring.

기 위해 개별로 44가지 물질을 정성하여 이중 주로 방출되는 15가지 물질의 비율을 나타내었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 대부분 바닥재에서 톨루엔이 차지하는 비율은 높게 나타났으며 특히 카펫타일에서 타 종류 바닥재에 비해 테칸류 휘발성유기화합물이 높게 확인되었다. 이는 카펫 타일이 걸 표면에 합성섬유인 카펫이 시공되어 다른 자재와 다른 구성으로 인한 결과로 판단된다. 또한 목질을 재료로 한 마루재의 경우, 자연적인 휘발성유기화합물인 알파-파인(Alpha-Pinene)이 차지하는 비율은 다른 바닥재에 비해 높게 나타났다(Zhu *et al.*, 2001). 이는 침엽수를 재료로 하여 마루재를 생산함에 따라 침엽수에서 방출되는 모노테르펜류 휘발성유기화합물이 방출되는 것으로 판단된다.

### 3.3 방출시험기간 증가에 따른

#### 휘발성유기화합물 방출 특성

본 연구는 바닥재를 PVC(타일, 장판), 카펫타일, 고무타일, 마루재로 구분하여 10개의 바닥재에 대하여 1, 2, 3, 5, 7, 10, 14, 21, 28일간 실험을 통하여 장기 오염물질 방출특성을 파악하고 안정화되는 시점과 감소비율을 알아보고자 하였다.

그 결과, 대부분의 바닥재에서 총휘발성유기화합물 방출량이 방출시험 증가에 따라 점차적으로 감소하

였으며, PVC 성분의 바닥재와 마루재가 시험을 개시한 7일 후 TVOC 방출량이 약 50% 감소하는 것을 확인할 수 있었다(그림 5). 특히 시험 개시 후 15일 후는 대부분 자재의 총휘발성유기화합물 방출량이 안정화되고 초기 방출량에 비해 50%로 낮아지는 것이 확인되었다. 이는 타 연구에서 보고되고 있는 합판과 파티클보드, 하드보드가 초기 방출량에 9일 쯤 약 17~20% 감소하여 방출 시간이 증가되면서 점차 감소한다고 보고되고 있는 Guo *et al.* (2002)의 연구 결과와도 유사하게 나타났다.

시간별 방출특성을 알아보기 위해 44개 휘발성유기화합물을 정성분석을 하였으며 이때 가장 빈도수

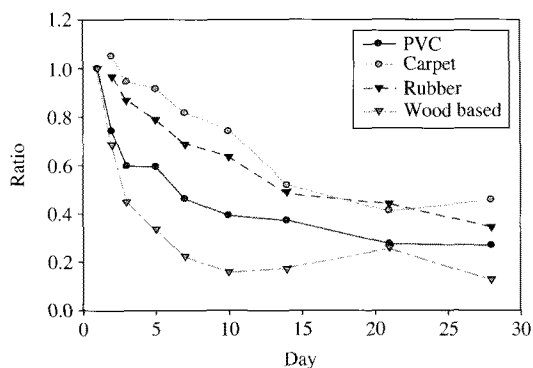


Fig. 5. Decrease ratio of TVOC emission from floorings.

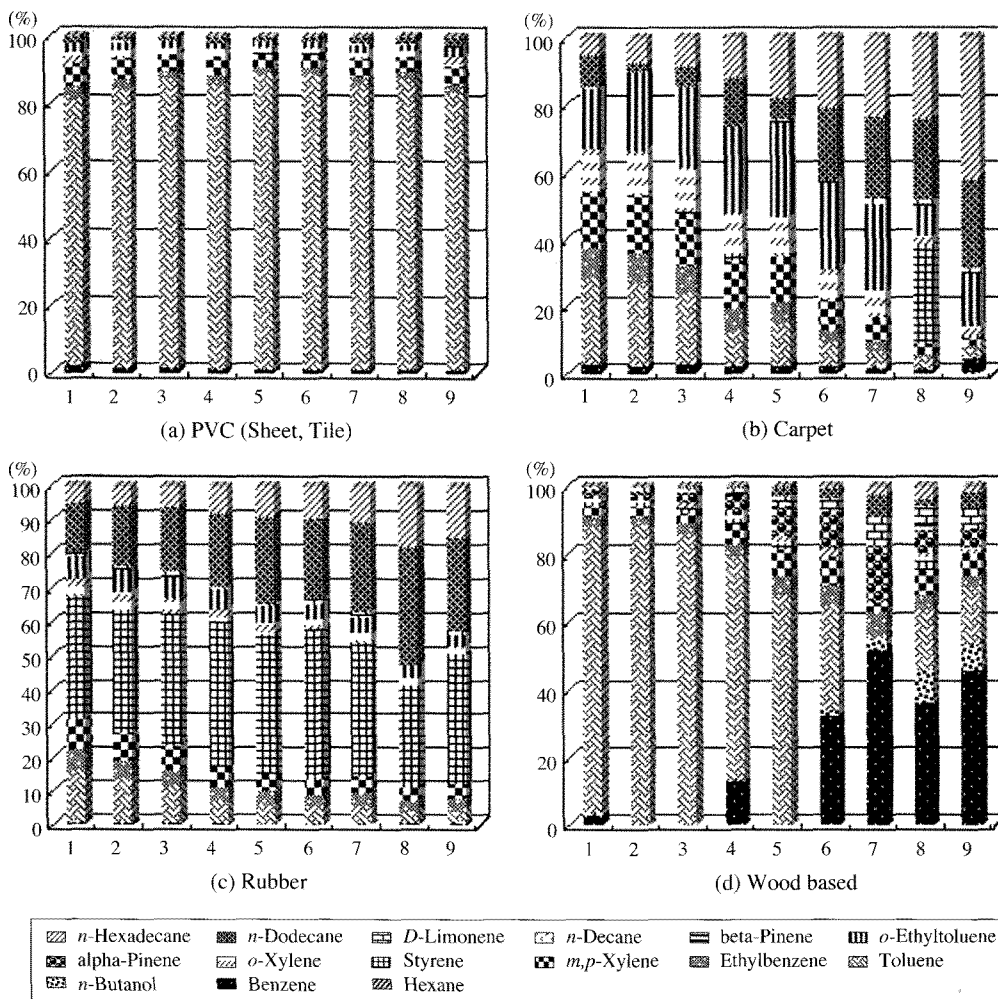


Fig. 6. Composition of major identified VOCs emitted during 28 days.

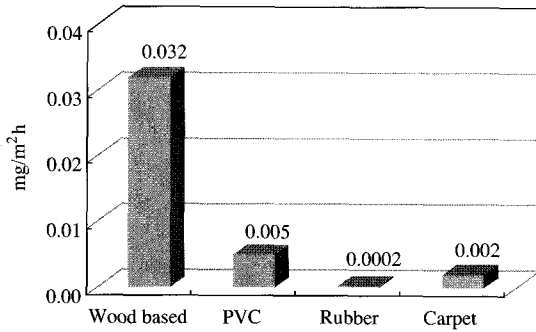


Fig. 7. Formaldehyde emission from floorings.

가 높은 15개 물질을 선정하여 방출량 비율을 확인하였다(그림 6). 개별 휘발성유기화합물의 기간별 변화는 바닥재의 종류별로 차이를 보이고 있으나 툴루엔과 데칸류 등이 대부분을 차지하고 있었다. 특히 PVC(타일, 장판) 경우는 툴루엔이 80% 이상으로 높게 차지하고 있었으며 28일 방출 기간 동안에도 툴루엔의 비율이 감소하지 않았다. 반면, 카펫 타일은 도데칸과 헥사데칸의 비율이 높았으며 점차적으로 비율이 증가하는 것으로 나타났고 고무 타일은 방출 기간 동안 주로 스티렌과 도데칸이 방출되는 것을 확인할 수 있었다. 마루재는 초기에 주로 툴루엔이 방출되고 시간이 증가됨에 따라 점차적으로 그 비율이 감소하는 것을 알 수 있었고 특히 마루재의 경우 다른 바닥재에 비해 알파-파인이 28일 동안 계속해서 방출되는 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 4 폼알데하이드 방출 농도 특성

바닥재로부터 방출하는 폼알데하이드의 특성을 살펴보기 위해 휘발성유기화합물과 동일하게 105개 바닥재에 대해 소형방출챔버를 이용하여 바닥재, PVC(타일, 장판), 고무타일, 카펫타일로 구분하여 7일간, 28일간 방출시험을 수행하였다.

7일 동안 방출시험한 결과는 위의 그림 7에 나타냈으며, 폼알데하이드는 총휘발성유기화합물에 비해 현저히 낮은 것을 확인할 수 있었다. 7일간 실험한 95개 자재는 마루재에서 0.032 mg/m<sup>2</sup>h로 가장 높게 방출되었으며 그 외 바닥재는 모두 낮게 나타났다. 또한 28일 장기간 동안 방출 시험한 결과(그림 8), 대상 바닥재에서 낮은 폼알데하이드 방출량 값을 나타냈으며 고무 타일의 경우 정량한계(0.0013 mg/m<sup>2</sup>h)

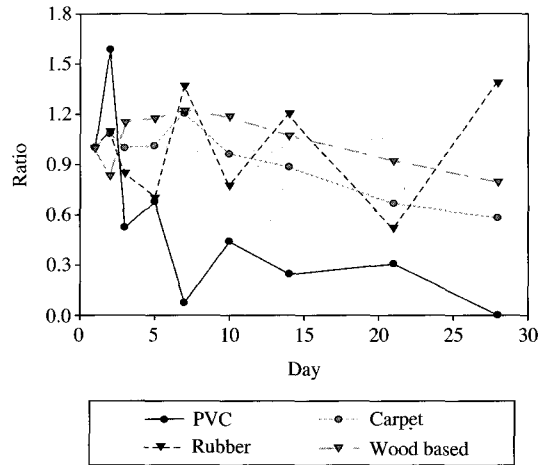


Fig. 8. Decrease ratio of TVOC emission from floorings.

보다 낮게 나타나 방출량 감소경향 및 안정화시기를 판단할 수 없었다. 이와 같은 결과는 휘발성유기화합물과 상이한 결과로 이중 마루재에서 폼알데하이드 방출량이 타 종류 바닥재보다 높게 나온 것은 타 연구 결과와 유사하며 (Institute for the Environment, 1989; Tichenor and Mason, 1988) 이는 마루재에 제작 시 접착제 사용과 원목 자체에서 발생된 것으로 판단된다. 현재 마루재에 사용되는 접착제로부터 방출되는 폼알데하이드는 인체유해성과 관련하여 전 세계적으로 1970년대부터 연구되어 왔으나 현재에도 완전하게 해결되지 않고 있다. 따라서 바닥재 가공 시 사용되는 접착제의 종류에 따라 폼알데하이드 방출량이 결정되므로 폼알데하이드 수치계 접착제 선정 시 구성성분을 세밀히 점검하여 사용해야 하며 기존의 접착제로부터 방출되는 폼알데하이드의 방출량에 따른 인체의 영향에 대해 정확한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 4. 결 론

본 연구는 소형방출챔버를 이용한 바닥재에서 방출되는 오염물질 특성을 파악하기 위해 국내에서 생산되는 바닥재 105개를 선정하여 실내공기질 공정시험기준에 따라 7일과 28일간 방출시험을 수행하였다. 주요 연구 결과는 총휘발성유기화합물의 경우 마

루재에서 0.122 mg/m<sup>2</sup> h로 가장 낮았으며 카펫타일에서 7.419 mg/m<sup>2</sup> h로 비교적 높게 확인되었다. 반면, 폼알데하이드는 마루재에서 가장 높게 방출되었으며 다른 바닥재는 정량 한계보다 낮은 수준으로 방출되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 마루재 제조 시 접착제 사용과 원목 자체에서 발생된 것으로 판단된다. 또한 대부분의 바닥재에서 BTEX와 테칸류가 높게 방출되었으며 마루재에서는 자연적인 휘발성유기화합물인 알파-파인이 차지하는 비율은 다른 바닥재에 비해 높게 나타났다. 이러한 휘발성유기화합물은 방출시험기간이 증가함에 따라 감소하여 시험을 개시한 7일 후는 PVC재와 마루재가 약 50% 감소, 15일 후는 대부분 안정화 되었다.

이러한 연구 결과로 바닥재에서 방출되는 오염물질의 특성을 파악할 수 있으나, 사용된 시료의 수가 국내에서 생산·유통되는 제품을 대표하기에는 충분하지 않아 보다 많은 바닥재의 오염물질 방출 특성에 대한 연구가 요구된다. 또한 연구를 토대로 카펫타일이나 고무타일에서 특정 오염물질의 방출량을 감소시키고 다른 바닥재에 비해 폼알데하이드가 다소 많이 방출되는 마루재에 대한 감소방안을 마련하는 연구자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

김신도, 김정호, 박진수, 이정주 (2004) 화학 및 천연페인트에서 발생하는 TVOCs의 방출강도 특성 연구, 한국환경보전학회지, 30(5), 487-493.

신혜수, 김윤신, 허귀석 (1993) 실내외 공기 중 휘발성 유기화합물질 (VOCs)의 농도조사에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(4), 310-319.

이석조, 장성기, 조용성, 정경미, 정기호 (2005) 소형챔버법을 이용한 건축자재 중 벽지, 페인트 및 접착제의 VOCs 방출특성 평가, 한국대기환경학회지, 21(2), 191-204.

환경부 (2008) 실내공기질 공정시험 기준, 환경부 제2008-73호

Andersson, K., J.V. Bakke, O. Bjorseth, C.G. Bornehag, G. Clausen, J.K. Hongso, J.K. Kjellman, M. Kjaergaard, S. Levy, F. Molhave, L.S. Skerfving, and J. Sundell (1997) TVOC and Health in Non-industrial Indoor Environments Indoor Air, 7, 78-91.

ASTM D 6330-98 (2003) Standard practice for determination of volatile organic compounds, ASTM.

Baek, S.O. and R.A. Jenkins (2001) Performance evaluation of simultaneous monitoring of personal exposure to environmental tobacco smoke and volatile organic compounds, Indoor Built Environ., 10, 200-208.

Baek, S.O., Y.S. Kim, and R. Perry (1997) Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas-indoor/outdoor relationships, Atmospheric Environment, 31(4), 529-544.

EPA TO-17 (1999), Determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes, EPA.

Guo, H., F. Murray, and S.C. Lee (2002) Emissions of total volatile organic compounds from pressed wood products in an environmental chamber, Building and Environment, 37, 1117-1126.

Institute for the environment (1989) A Practical Guide. Commission of the European Communities, Joint Research Center, European Concerted Action Report No. 4. Sick Building Syndrome.

ISO 16000-9. Indoor air (2005) Emission test chamber method. International Organization for standardization.

Tichenor, B.A. and M.A. Mason (1988) Organic emissions from consumer products and building materials to the indoor environment, Journal of Air Pollution Control Association, 38, 264-268.

Zhu, J.P., J.S. Zhang, and C.Y. Shaw (2001) Comparison of models for describing measured VOC emissions from wood based panels under dynamic chamber test condition, Chemosphere, 44, 1253-1257.