

## AA1) 카페트에서 방출되는 VOCs에 관한 실험적 연구 An experimental study on the emission of volatile organic compounds(VOCs) from carpet

신동민<sup>1)</sup>, 김창녕<sup>1)</sup>, 천만영<sup>2)</sup>

경희대학교 기계공학과 대학원, 경희대학교 기계산업시스템공학부<sup>1)</sup>,

한경대학교 환경공학과<sup>2)</sup>

### 1. 서 론

최근 국내의 생활 문화가 점차 서구화되어 가면서 카페트를 사용하는 장소가 증가하고 있으며, 실내 소음 방지, 보온, 분위기 조성 등을 위한 목적으로 카페트의 사용범위는 점차 넓어지고 있다. 하지만 이러한 카페트는 실내 VOCs 방출원 중의 하나로 보고되고 있으며, 여기서 방출된 VOCs는 실내 공기질 (Indoor Air Quality: 이하 IAQ라 칭함)저하를 유발하는 요소 중의 하나이다. 카페트는 다른 실내 VOCs 방출원에 비하여 사용면적이 넓고 장기간 사용하므로 IAQ에 미치는 영향은 크며, 미량의 VOCs로도 IAQ에 큰 영향을 미친다. 하루 중의 많은 시간을 실내에서 보내고 있는 현대인들에게 VOCs로 인한 IAQ저하는 건강에 부정적인 영향을 미친다. 건물 증후군(Sick Building Syndrome: SBS)뿐만 아니라 단기적으로는 눈, 목, 코의 자극 또는 두통, 현기증, 피로를 유발할 수 있으며 장기적으로는 무기력증이나 건강에 치명적일 수 있다고 보고되어 있으며, 작업 능률저하로 경제적인 손실을 유발한다.

실내 VOCs 방출원의 방출 원동력은 크게 2가지로 구분될 수 있다. 젖어있는 방출원은 실내와 방출원 사이의 증기압차이에 의하여 VOCs를 방출시키며, 건조한 방출원은 실내와 방출원 사이의 농도차이에 의한 확산에 의하여 VOCs를 방출시킨다고 알려져 있다. 이 중 건조한 방출원인 카페트의 VOCs 확산에 의한 방출능력이 카페트의 고체 내부 확산계수 산출을 통하여 정량적으로 평가된다면, 카페트에서 방출되는 VOCs에 의한 IAQ저하를 효과적으로 개선할 수 있는 방안이 제시될 수 있다. 미국과 유럽의 선진국에서는 이와 같은 VOCs가 IAQ에 미치는 영향 및 인체 유해성, 방출 특성 등에 대한 많은 연구가 수행되었으며, 이를 기반으로 실내 VOCs 방출 시험법, 규제방안, 개선방안에 대한 연구가 이루어졌다. 최근 국내에서도 VOCs가 IAQ에 미치는 연구가 시작되고 있으나, 국외에 비하면 매우 기초적인 수준이며, 연구의 범위도 한정되어 있다. 본 연구에서는 카페트의 확산에 의한 VOCs 방출능력을 정량적으로 평가하기 위한 방법인 카페트의 고체 내부 확산계수 산출을 위한 기초 데이터 수집 및 카페트의 VOCs 방출특성 파악을 목적으로, ASTM의 시험법을 이용하여 카페트로부터의 VOCs 방출특성이 실험적으로 연구되었다.

### 2. 연구 방법

실험에 사용될 카페트의 구성요소인 섬유재와 바닥재는 폴리프로필렌(Polypropylene)이며, 섬유재를 바닥재에 고정시키기 위하여 접착제(Latex)가 사용되었다. 실험 장치는 항온장치, 공기 공급부, 실험챔버, 계측부의 4가지 부분으로 구성되어 있다. 항온장치는 실험챔버 내부와 공급되는 공기의 온도를 일정하게 유지하기 위한 목적으로 제작되었다. 공기 공급부에서는 소형펌프와 유량계를 사용하여 실험챔버로 외부공기가 공급되었으며, 공급되는 공기에서의 VOCs 제거와 수분조절을 위하여 활성탄(활성탄 섬유), 실리카겔이 각각 사용되었다. 실험챔버는 스테인리스스틸을 사용하여 0.088 m<sup>3</sup>(88 L)의 크기로 제작되었다. 실험챔버 내부 하단에는 유리 구슬을 사용하여 공급공기가 각각의 시편에 균일하게 공급되도록 하였다. 시편고리는 카페트의 바닥 면과 모서리를 가릴 수 있도록 제작되었다. 계측부에서는 실험챔버 내부의 온도와 습도를 측정하기 위한 계측기들이 이용되었다. 샘플링 및 분석과정에서는 실험챔버 출구에서 흡착관(Sorbent tube)과 펌프를 이용한 활성 샘플링방법이 사용되었다. 농도 구배가 클 것으로 예상되는 실험 초반부에는 샘플링 사이의 간격은 짧게 하였으며, 이와는 반대의 경향을 보일 것으로 예상되는 실험 후반부에는 샘플링 사이의 간격을 길게 하였다. 실험 기간은 10일이며 샘플링 횟수는 11번이었다. (0h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h, 96h, 120h, 144h, 192h, 240h) 샘플링 작업이 끝난 흡착관을 열탈착계로 탈착을 시킨 후, GC-MS(HP6980/HP5973)장치로 분석되었다. Screening 작업에서는 약 17가지의 물질이 검출되었으나, 비교적 농도가 높고, 분석이 정확히 이루어 질 수 있는 9가지 물질만을

선정하여 평가되었다. 각각의 실험이 시작되기 전에 실험챔버에 존재할 가능성이 있는 VOCs를 제거하기 위하여 계면활성제를 이용하여 실험챔버가 세척되었다. 한편, 실험 장치의 정상 상태 도달을 위하여 실험 시작 24시간 전부터 실험 조건과 동일한 상태로 실험 장치를 유지 시켰다. 실험챔버내의 오염된 공기를 제거하기 위하여 시편을 실험장치에 넣은 후에 5 L/min로 30분간 공기를 공급 후 샘플링이 시작되었다.

Table 1. Experimental conditions

	Case A		Unit
Temperature	25	T	°C
Relative humidity	18	H	%
Air exchange rate	1	N	$h^{-1}$
Air flow rate	1.4	Q	L/min
Product loading	1.176	L	$m^2/m^3$
Sample area	13.36	A	$m^2$

### 3. 결과 및 고찰

시간에 따른 실험챔버 출구에서 측정된 TVOCs(각각 측정된 9가지 물질의 합)가 그림 1(a)에 제시되었다. 실험의 초기에는 상대적으로 고농도의 범위에서 TVOCs가 측정되었으나 시간이 증가됨에 따라서 지수 형태의 감소를 보이는 방출특성을 가진다. 방출량(Emission rate)의 계산에서는 ASTM에서 제시한 직접 계산(Direct calculation)과 일차 감소 모델(First order decay source model)을 사용하였다. 농도 그래프와 마찬가지로 시간이 증가됨에 따라 지수 형태의 감소를 그림 1(b)에서 보이고 있으며, 각각의 계산 방법에 따라 상이한 방출량을 예측하고 있다. 직접 계산에서는 실험 시작부터 끝까지 꾸준히 방출량의 감소를 보이고 있지만, 일차 감소모델에서는 72시간 이후에는 방출량이 매우 미미함을 보이고 있다. Mass balance 또한 ASTM에서 제시된 방법을 통하여 계산되었다. 계산 과정에서 실험챔버의 TVOCs의 초기 농도는 0이라 가정하고, 실험기간 중에 TVOCs가 실험챔버의 벽 또는 기타 장소에 흡착되는 효과는 무시하고 계산하였는데, 실험 기간 동안 카펫에서는 대략 1776 ng의 VOCs가 방출되었다. 또한, 카펫에서 방출된 TVOCs는 거의 모두 실험챔버 출구를 통하여 외부로 방출되었음이 그림 1(c)에서 보인다. 향후에는 카페트에서의 온도 변화에 따른 방출특성을 파악하기 위한 실험이 실시될 것이다. 이 두 가지 실험 결과를 이용하여 교체 내부 확산계수를 산출하여 카페트의 확산에 의한 VOCs 방출능력을 정량적으로 평가하며, 이를 통하여 카페트에서 방출되는 VOCs에 의한 IAQ저하의 효과적인 개선 방안을 제시할 예정이다

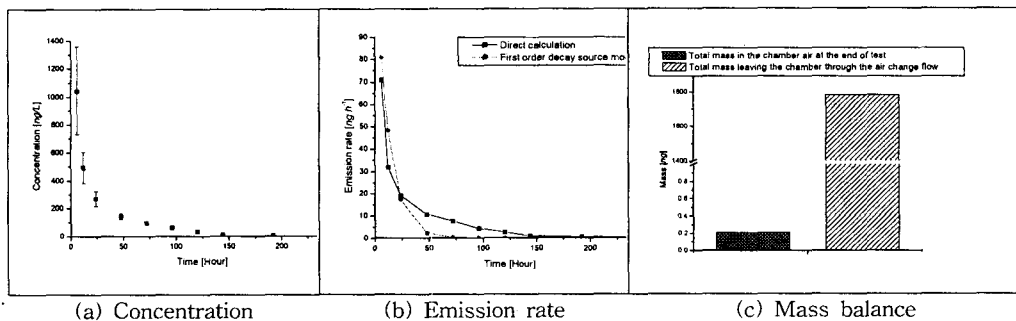


Fig. 1. Experimental result & analysis from given conditions

### 참 고 문 헌

1. American Society for Testing and Materials. (1997) Standard Guide for Small-Scale Environmental Chamber Determination of Organic Emissions From Indoor Materials/products, ASTM D5116-97