

## 실내 방향제 사용에 의한 유해 가스상 오염물질 배출 산정 및 노출 평가

조완근\*, 신승호, 권기동<sup>1</sup>, 이종효<sup>2</sup>

경북대학교 환경공학과, <sup>1</sup>이화환경, <sup>2</sup>금호석유화학(주)

## Emission Estimation and Exposure to Hazardous Gaseous Pollutants Associated with Use of Air Fresheners Indoors

Wan-Kuen Jo\*, Seung-Ho Shin, Gi-Dong Kwon<sup>1</sup> and Jong-Hyo Lee<sup>2</sup>

*Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University*

<sup>1</sup>*Environmental Measurement Team, Ewha Environment Corporation*

<sup>2</sup>*Safety Management Team, Kumho Petrochemical Corporation*

### ABSTRACT

This study quantitatively investigated the emissions of indoor air pollutants associated with the utilization of air fresheners indoors, and evaluated individual exposure to five specified indoor air pollutants, which were chosen on the basis of selection criteria. An electrically-polished stainless steel chamber (50 L) was employed to achieve this purpose. Test air fresheners were selected through three steps: first, on the basis of market sales; second, on the basis on a preliminary head-space study; and lastly, on the basis of emissions of toxic compounds (benzene, ethyl benzene, limonene, toluene, and xylene). The empirical mathematical model fitted well with the time-series concentrations in the environmental chamber (in most cases, determination coefficient,  $R^2 \geq 0.9$ ), thereby suggesting that the empirical model was suitable for testing emissions. The concentration equilibrium appeared 180 min after the introduction of sample air fresheners into the chamber. Both the chamber concentrations of emission rates or factors varied greatly according to air freshener type. It is noteworthy that although benzene, ethyl benzene, toluene, and xylene were emitted from all test air fresheners, their exposure levels were not significant enough to result in any significant health risk. However, certain type of air fresheners were observed to emit significant amount of limonene, which is potentially reactive with ozone to generate secondary pollutants with oxidants such as ozone, hydroxyl radicals, and nitrogen oxides. The exposure levels to limonene associated with the utilization of three air fresheners were estimated to be 13 to 175 times higher than that of other air fresheners. This information can help consumers to select low-pollutant-emitting air fresheners.

**Key words** : emission rate, emission factor, environmental chamber, empirical model

### 서 론

※ To whom correspondence should be addressed.  
Tel: +82-53-950-6584, Fax: +82-53-950-6579  
E-mail: wkjo@knu.ac.kr

가정의 생활용품들이 위생 증진 또는 심미적 효과를 제공하는 목적으로 다양한 실내 공간에서 폭

넓게 사용되고 있다(Rusin *et al.*, 1998; Nilsen *et al.*, 2002). 그러나, 최근에 많은 생활용품들이 실내 공간의 주요 공기 오염원이 된다는 연구 결과가 보고되고 있다(Habib *et al.*, 2006; Singer *et al.*, 2006; Su *et al.*, 2007). 특히, 방향제는 일반 가정뿐만 아니라 공공건물, 산업체 또는 비산업체 사무실에서 주로 악취 문제 해결을 위해서 이용되지만(Rogers *et al.*, 2005; Tamás *et al.*, 2006), 방향제에서 배출되는 일부 성분들은 독성이 강하거나 실내화학 반응을 통하여 이차 독성 가스 또는 입자상 오염물질을 생성시킨다(Wainman *et al.*, 2000; Nazaroff and Weschler, 2004; Rogers *et al.*, 2005; Singer *et al.*, 2006; Tamás *et al.*, 2006). 방향제에서 방출되는 오염물질 중에서도 테르펜(terpene) 계통의 화학물질이 결합 에너지가 약한 불포화 결합기를 함유하고 있어서 공기 중에서 오존, 하이드록실 라디칼 또는 다른 종류의 라디칼과 쉽게 반응하여 포름알데히드와 같은 독성이 강한 가스 오염물질과 이차 유기화합물질을 생성하는 것으로 알려졌다(Weschler and Shields, 1999; Atkinson and Arey, 2003).

방향제에 함유된 화학 물질들은 방향제의 종류와 제조 회사에 따라 차이가 많은 것으로 보고되고 있다(EIIP, 1996; Salthammer, 1999; USEPA, 2003). 에어로졸과 리퀴드 스프레이 형태는 용제 용도로서 에탄과 이소프로판올을, 고압가스 분사용도로는 프로판, 부탄 및 이소부탄을 함유하고 있으며, 젤과 파우더 형태는 에어로졸과 리퀴드에 비해 상대적으로 화학물질의 함유량이 낮다(EIIP, 1996). 미국 환경보호국(USEPA, 2003a)은 포름알데히드, 석유정제물, 에어로졸 추진제, 파라-디클로로벤젠, 나프탈렌, 자일렌, 부탄, 크레졸, 에탄올 및 페놀 등이 함유된 방향제도 있는 것으로 보고하였다. 한편, Salthammer(1999)는 리모넨(d-limonene), 파이넨(alpha-pinene) 및 오시멘(ocimene)이 방향제의 주요 성분에 해당하는 것으로 보고하였다. Kwon and Jo(2007)도 국내에 판매되고 있는 네 개 방향제에 대하여 휘발 성분을 정성적으로 조사하여, 리모넨을 포함하여 12개 휘발성 화학물질이 존재하는 것으로 보고하였다.

방향제에 함유된 여러 화학성분들과 이들의 실내 화학 반응에 의해 생성된 이차 오염물질들이 눈, 코, 목의 따가운 증세로부터 건물 증후군과 같은 인체 위해성을 증대시킬 수 있는 것으로 보고

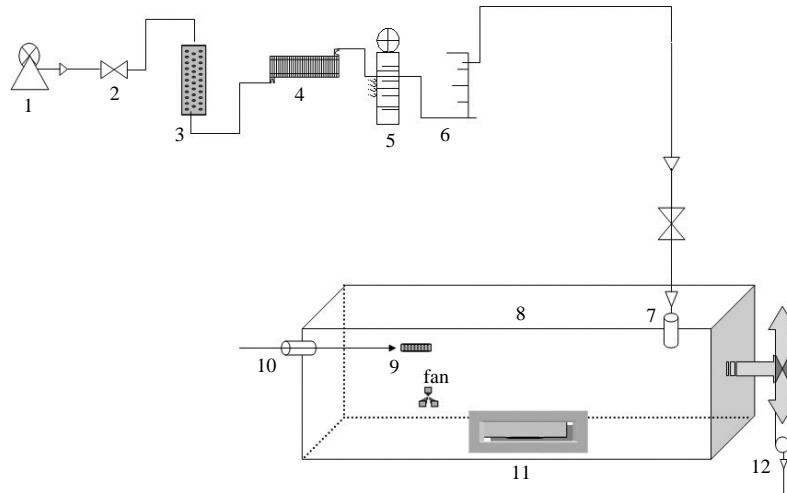
되고 있다(MØlhave *et al.*, 1984; EIIP, 1996; Wolhoff *et al.*, 1998; Singer *et al.*, 2006; Nazaroff, 2008). Kwon and Jo(2007)가 보고한 국내 시판 방향제의 주요 성분 중에는 리모넨, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌이 포함된다. 리모넨 노출에 민감한 사람은 호흡기질환뿐만 아니라 간, 신장 및 신경계계통의 손상을 초래할 수도 있다(OSHA, 1998). 벤젠(benzene)은 백혈병을 포함한 발암성 물질로 알려져 있고, 톨루엔(toluene)은 성장하고 있는 태아에 영향을 미칠 수 있으며, 에틸벤젠 및 자일렌(xylene)과 함께 신경독성을 유발시키고 간이나 신장의 손상도 유발할 수 있다(OEHHA, 2003). 이들 물질들은 단기간 노출 시에는 자극, 흥통, 호흡곤란, 두통, 졸음, 현기증, 혼수 등을 유발하고 장기간 노출 시 피부자극, 무기력, 현기증도 유발시킨다(OEHHA, 2003).

국내 시판 방향제에서 이러한 유해 오염물질들이 함유되어 있다는 것이 정성적으로는 조사되었지만(Kwon and Jo, 2007), 방향제 사용과 관련한 인체 노출 자료로 활용될 수 있는 국내 시판 방향제 방출 성분의 정량적 분석 결과는 문헌상에서 아직까지는 보고되지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 국내 시판 방향제에서 방출되는 유해 성분들을 정량적으로 분석하고, 방향제 사용과 관련한 유해 성분 노출에 대하여 평가하였다. 가정용품의 배출 특성을 평가하기 위해서 가장 보편적으로 활용되어 온 헤드-스페이스법(head-space method)(Colombo *et al.*, 1991; USEPA, 2003b) 또는 퍼지-앤-트랩(purge-and-trap method)(Sack *et al.*, 1992; EC, 2004)은 정성적 분석에는 이용될 수 있지만 정량적 분석에는 부적합하기 때문에 정량적 분석을 위해서 환경 챔버(Kemmlin *et al.*, 2003; Wilke *et al.*, 2004; Katsoyiannis *et al.*, 2006)를 이용하였다. 방향제에서 방출되는 유해 성분들의 정량적인 분석 결과와 더불어 실내 활동도와 노출 특성을 이용하여 실내 공간에서 방향제 사용과 관련한 노출 평가를 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사 대상 방향제 및 오염물질의 선정

조사대상 방향제를 선정하기 위하여 일차적으로



**Fig. 1.** Schematic diagram of environmental chamber system: 1, compressed air; 2, Swagelok valve; 3, active charcoal; 4, fine-particle filter; 5, mass-flow meter; 6, flow controller; 7, inlet port; 8, stainless steel chamber; 9, mixing fan; 10, temperature and relative humidity monitoring port; 11, test specimen and sample; and 12, sampling port.

국내 시장 인터넷 조사를 수행하였고, 이에 기초하여 방향제 판매 순위를 조사한 결과, 시중에 유통되고 있는 방향제 종류가 131 종류이었다. 다음 단계에서는, 국내에서 매출규모 큰 두 개의 대형 할인점(이마트와 홈플러스)을 중심으로 최근 생활용품 판매실적을 담당하는 담당자와 판매원과의 인터뷰를 통해서 판매 순위 상위 50%를 차지하는 방향제 중 환경 챔버 시험에 적용이 용이한 겔형(gel-type) 26 종류를 선정하였다. 다음 단계로 수행된 예비 조사에서, 앞서 시장 조사된 방향제 26 종류에 대하여 헤드-스페이스법과 기체크로마토그래피(GC, gas chromatography; Shimadzu 2010)/질량분석기(MS, mass spectrometer; Shimadzu QP2010)를 이용하여 방향제에서 방출되는 오염물질을 조사하고 이들을 독성물질 목록(Proposition 65, OEHHA, 2003)과 비교하여 강한 독성을 가지는 오염물질 네 종류(벤젠, 에틸벤젠, 톨루엔, 자일렌)와 독성은 이들 오염 물질들보다 다소 낮지만 배출량이 가장 많은 리모넨을 조사 대상 오염물질로 선정하고, 이들에 대한 배출 총량이 가장 많은 일곱 종류의 방향제를 최종적으로 선정하였다.

## 2. 환경 챔버 실험

최종 선정된 일곱 종류의 방향제에 대하여 다섯

종류의 오염물질의 배출을 정량적으로 조사하기 위하여 Fig. 1에 나타난 환경 챔버 장치가 이용되었다. 환경챔버(50 리터 용량)는 내부 벽의 표면에 흡착 및 반응성을 줄이거나 저감할 수 있도록 전기적으로 전처리된 stainless steel(SS) 재질로 제작되었다(ASTM, 1998). 환경챔버 상부를 입구로 활용하고 밀폐는 실리콘 가스켓(Gasket)을 이용하였다. 공기 유입과 출구, 기기 연결 그리고 시료채취를 위해서 SS 챔버의 벽면에 여러 개의 1/4인치 외경 크기로 구멍을 뚫었다. 각 구멍은 Swagelok 밸브 또는 테프론 테이프를 이용하여 공기의 누출이 없도록 관리되고 환경챔버내의 청정 공기는 영점등급 공기 실린더로부터 공급되었다. 챔버의 배출구 시료 채취부를 통하여 유해오염물질이 배출될 수 있기 때문에 환경챔버의 배출구는 후드 내부로 연결되었다. 시료 채취유량은 챔버유입구 유량의 50% 이내로 유지시켰고 질량 유량계에 의해 조절되었으며, 누적 유량측정기(Bubble meter)를 이용하여 측정되었다. 환경챔버 내부의 환기률은  $1\text{ h}^{-1}$ (Air changes per hour, ACH)로 조절되었다(ASTM, 1998). 챔버 내부의 공기는 금속 팬(fan)에 의해 혼합되었고 공기 혼합물의 정도는 여러 개의 시료채취 장소에서 채취되는 시료의 분석 결과를 비교하여 최적의 조건에서 수행되었다. 디지털 습도계(Thermo Recorder TR-72S, T & D Co)는 챔버 내벽

으로부터 5 cm 떨어지고, 공기 유입부와 유출부 사이의 중간 지점에 근접하도록 설치하였다. 실험 전 과정에서 챔버 내부의 온도는  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지되었다. 실험을 수행하기 전에 알칼리성 세제로 챔버 내부 표면과 팬을 포함한 실험 장치 전반을 깨끗이 닦고 증류수로 다시 세척을 한 후 챔버 시스템을 건조시켰다. 환경 챔버의 밀폐 정도는 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )를 환경챔버 내부로 주입시킨 후, 이산화탄소의 시간대별 농도관계를 이용하여 결정하였다. 이산화탄소의 농도는 비분산적외선법을 이용하는 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ) 측정기(Gastec Model CMDP-10P)를 이용하여 측정하였다.

환경 챔버 내부의 오염 여부와 배경 농도를 조사한 후에 방향제 시료 5그램을 챔버의 수평 시료 수용 접시에 두었다. 시료 채취는 5시간 동안 진행되었으며 초기에는 5분 또는 15분 간격으로 시료를 채취하다가 시간이 경과함에 따라 시료 채취 시간 간격을 조금씩 증가시켰다. 본 실험을 수행하기 전에 챔버 내부의 잔류 오염도를 평가하기 위하여 항상 챔버 내부의 배경 농도를 미리 측정하였다. 시료는 디지털 유량계가 연결된 흡착제(Tenax TA)를 함유하는 트랩(trap)과 진공 펌프를 이용하여 채취되었다. 펌프의 유량은 시료 채취 전 후에 모두 확인되었고 이 두 유량의 평균을 이용하여 채취 부피를 계산하였다.

### 3. 시료 분석

채취된 시료는 미국의 환경 보호국의 방법 USEPA TO-1을 응용하여 조사 대상 다섯 종류의 휘발성 유기화합물질에 대해서 분석하였다. 조사 대상 오염물질이 기지의 다섯 종류로 축소하였기 때문에 헤드-스페이스법에서 사용된 GC/MS 장치 대신에 GC(Agilent 4890)와 열 탈착 장치(thermal desorber, TD; SPIS-TD<sup>TM</sup>, Donam)를 이용하였다. 주입된 대상 물질의 효율적인 분리를 위해 모세관 칼럼(capillary column; J & W Model Vocol, 60 m × 0.53 mm)을 이용하고, 분리된 오염물질의 분석을 위해 불꽃이온화 검출기(flame ionization detector, FID)를 이용하였다. 이때 모세관 칼럼 내부로 주입된 대상물질의 운반을 위해서는 대상물질에 대한 반응성이 없으며 매우 안정한 기체인 초고순도 질소(99.999%)를  $10 \text{ mL min}^{-1}$ 로 흐르게 하고, FID의

불꽃을 일으키기 위해서는 초고순도 수소와 초고순도 공기를 이용하였다. 또한 GC 항온조(oven)의 경우에는  $40^\circ\text{C}$ 에서 5 min 간 유지된 후  $4^\circ\text{C min}^{-1}$ 로 승온하여  $100^\circ\text{C}$ 에서  $20^\circ\text{C min}^{-1}$ 로 재 승온되었으며 최종적으로  $200^\circ\text{C}$ 에서 5분간 유지될 수 있도록 조절되었다. TD의 경우에는  $300^\circ\text{C}$ 의 조건으로 10분간 시료가 탈착될 수 있도록 조건을 설정하고 채취된 공기 시료 중 대상물질을 선별하기 위해  $-30^\circ\text{C}$ 까지 온도 조절이 가능한 저온농축 트랩을 장착하였다. 또한 기타 TD의 조건은 밸브온도  $100^\circ\text{C}$ 로 하였다. 조사 대상 물질의 정성 분석을 위해서는 분석 자료의 머무름 시간(retention time)을 이용하고, 정량을 위해서는 외부 표준법을 이용한 검량선을 이용하였다. 분석기기의 일간 반응정도와 감도를 파악하기 위해 외부 표준물질을 매 실험일마다 분석하여 미리 작성한 검량선과 비교하였다.

### 4. 자료 질 검증

본 연구에서는 선정된 각 조사 오염물질에 대한 분석결과와 질 검증(Quality assurance/Quality control)을 위해 매일 분석시 내부 및 외부표준 물질을 이용한 검량선(Calibration curve)의 확인, 실험실 공시료(Laboratory and Trap blank) 분석, 분석 정밀도(Precision)의 결정, 각 오염 물질 분석에 대한 검출한계(Method Detection Limit, MDL)의 결정 및 시료의 회수율(Recovery)의 결정을 포함하였다. 일간 기기 반응의 변화를 확인하기 위하여 각 오염물질은 검정선 작성에 이용된 표준물질과는 별도로 제조된 표준물질을 제조·분석하여 매일 시료 분석을 수행하기 전에 확인되었다. 이 확인결과 검량선에서 20% 이상 벗어나면 새로운 검량선을 작성하였다. 시료 채취용 트랩의 컨디셔닝 정도와 보관중 실험실 내부에서 야기될 수 있는 오염정도를 확인하기 위해 40개의 실험실 공시료가 분석되었는데, 본 실험의 대상오염물질 모두에 대해 당일 포집시료 농도의 10%를 초과하는 1개 실험실 공시료와, *m,p*-Xylene이 검출되었으나 10%를 초과하지 않는 4개의 실험실 공시료가 확인되었다. 본 연구에서는 오염이 확인된 실험실 공시료의 경우 동일한 배치(batch)에서 컨디셔닝된 시료 채취용 트랩에 대해 재 컨디셔닝을 실시하였고, 또한 이때

**Table 1.** Precision (%), method detection limit (MDL, ng), and recovery efficiency (RE, %) of analytical method

Chemical	Precision	MDL	RE
Benzene	6	1.3	110 (13)
Ethyl benzene	9	0.1	89 (7)
Limonene	8	0.7	93 (8)
Toluene	9	1.1	109 (11)
Xylene	9	0.2	93 (6)

Parenthesis represents a standard deviation.

채취된 현장시료 결과는 본 연구 결과에서 제외하였다. 분석 정밀도와 MDL은 각 오염물질에 대하여 7회씩 반복 분석하여 통계적으로 계산되었고, 시료의 회수율은 트랩에 기지의 오염물질을 첨가한 후 분석하여 결정되었다(Table 1). 분석 정밀도는 분석 오염물질 모두에 대하여 10% 이하(6~9%)이고, MDL과 회수율은 오염물질에 따라 각각 0.1~1.3 ng과 89~110% 범위이다.

### 5. 질량 수지 모델식

환경 챔버 농도 변화는 다음과 같은 일반 질량 수지 방정식과 연관될 수 있다(Guo *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2008; Lin *et al.*, 2009):

$$V(dC(t)/dt) = QC_i - DA(dC/dZ) - QC_o + R - S \quad (1)$$

여기서, V는 환경 챔버의 체적(m<sup>3</sup>), C(t)는 특정 시간 t (min)에서 오염물질의 농도(mg m<sup>-3</sup>), Q는 유량(m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>), C<sub>i</sub>는 챔버 유입 농도(mg m<sup>-3</sup>), C<sub>o</sub>는 챔버 유출 농도(mg m<sup>-3</sup>), D는 오염물질 확산 계수(m<sup>2</sup> min<sup>-1</sup>), A는 표면적(m<sup>2</sup>), R은 챔버 표면으로부터 오염물질 탈착속도(mg min<sup>-1</sup>) 그리고 S는 챔버 표면으로 오염물질 흡착속도(mg min<sup>-1</sup>). 질량 수지 방정식을 간편화 시키기 위하여 두 가지 주요 가정이 제시된다. 첫째, 실험이 끝나는 시간에도 방향제가 모두 소모되지 않고 남아 있었기 때문에 실험이 진행되는 동안에 오염물질이 지속적으로 배출이 되고 있었다. 따라서, 오염물질의 배출 속도가 일정한 것으로 가정하였다. 둘째, 챔버가 화학반응성이 크지 않은 전기 전처리된 SS로 제작되었기 때문에 챔버 내벽에서 흡착과 탈착 효과는 크지 않은 것으로 가정하였다. 결과적으로 질량 수지식(1)은 다음과 같이 간편화된다:

$$V(dC(t)/dt) = QC_i - QC_o \quad (2)$$

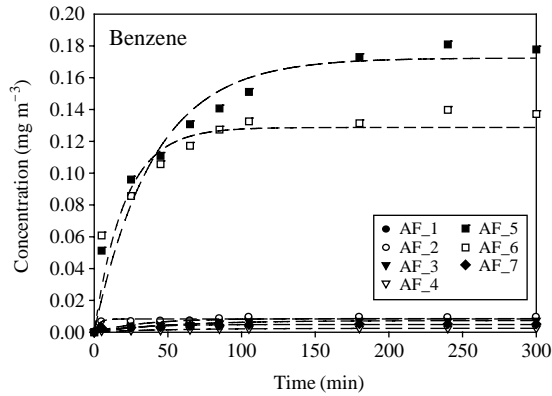
## 결과 및 고찰

### 1. 환경 챔버 내 오염물질 농도 및 배출 계수

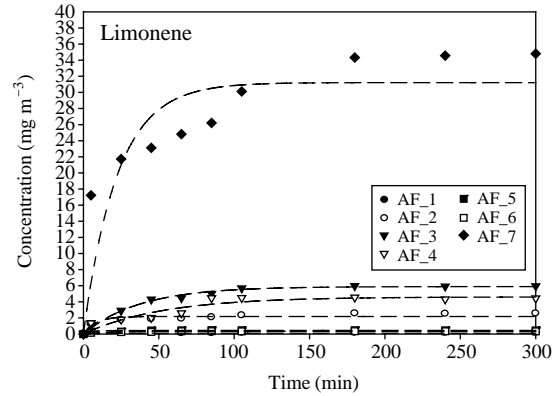
시장 조사에 기초하여 일차적으로 선정된 겔 형태의 26 방향제 종류에 대하여 헤드-스페이스법을 통하여 다섯 종류의 오염물질(벤젠, 에틸벤젠, 리모넨, 툴루엔 및 자일렌)과 일곱 종류의 방향제를 최종적으로 선정하였다. 선정된 방향제에 대하여, 시간에 따른 조사 대상 오염물질의 환경 챔버 내부 농도 변화를 조사하여 모델방정식에서 계산된 값과 비교하였다. 사용된 모델 방정식은 상기 (2)식의 해인 다음의 (3)식이다:

$$C(t) = K_1(1 - \exp(-K_2t)) \quad (3)$$

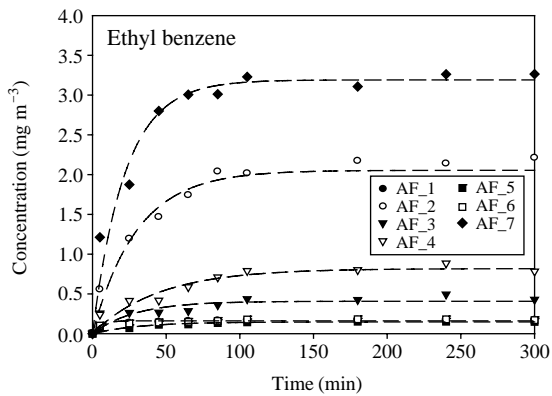
여기서, C(t)는 특정 시간 t(min)에서 오염물질의 농도(mg m<sup>-3</sup>), K<sub>1</sub>은 선형 인자 계수(mg m<sup>-3</sup>), 그리고 K<sub>2</sub>는 배출 속도 인자 계수(min<sup>-1</sup>)를 나타낸다. 일곱 가지 방향제에 대한 챔버 농도 실험값과 모델식(3)을 이용하여 계산된 예측값을 오염물질에 따라 Figs. 2~6에 나타내었다. 일곱 가지 방향제에 대한 챔버 농도 실험값과 모델식을 이용하여 계산된 예측값을 오염물질에 따라 비교한 결과, 대부분의 경우 결정 계수(R<sup>2</sup>)가 0.9에 가깝거나 0.9보다 큰 것으로 나타나, 실험값과 모델 예측값이 잘 일치함을 알 수 있다. 다만, AF\_3에서 방출되는 에틸벤젠과 AF\_7에서 방출되는 리모넨의 경우 R<sup>2</sup>값이 각각 0.70과 0.79로서 다소 낮게 나타났다. 방향제 7개의 제품에서 벤젠의 경우 0.002~0.18 mg m<sup>-3</sup>의 챔버 농도를 보였으며 180분 이후에 농도 평형이 이루어졌다. 에틸벤젠은 챔버 농도가 0.15~3.3 mg m<sup>-3</sup>의 농도 범위를 나타내었으며 105분 이후에 농도 평형이 이루어졌다. 리모넨, 툴루엔 및 자일렌의 경우, 농도 범위가 각각 0.1~34.8 mg m<sup>-3</sup>, 0.371~7.722 mg m<sup>-3</sup> 및 0.377~11.716 mg m<sup>-3</sup>이었고, 모두 180분 이후에 농도 평형이 이루어졌다. 벤젠의 경우 AF\_5가 가장 높은 챔버 농도를 나타내었고, AF\_6가 다음으로 높은 챔버 농도 그리고 다른 다섯 가지 방향제는 챔버 농도가 유사하게 나타났다(Fig. 2). 에틸벤젠의 경우에는 AF\_7, AF\_2, AF\_4 그리고 AF\_3 순으로 높은 챔버 농도를 나타



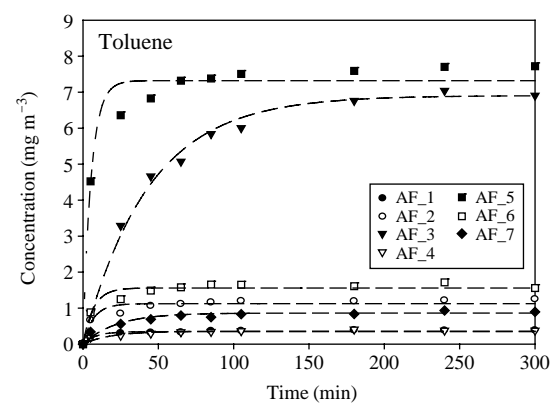
**Fig. 2.** Concentration-time profile of benzene according to air fresheners. The dots and curves reveal experimental and predicted values, respectively.



**Fig. 4.** Concentration-time profile of limonene according to air fresheners. The dots and curves reveal experimental and predicted values, respectively.



**Fig. 3.** Concentration-time profile of ethyl benzene according to air fresheners. The dots and curves reveal experimental and predicted values, respectively.



**Fig. 5.** Concentration-time profile of toluene according to air fresheners. The dots and curves reveal experimental and predicted values, respectively.

내었고, 다음으로 AF\_1, AF\_5와 AF\_6이 유사하게 나타났다(Fig. 3). 다른 조사 대상 오염물질에 대해서도 방향제 종류에 따라서 챔버 농도가 다르게 나타나, 방향제에 따라 오염물질의 배출 속도가 다른 것을 확인할 수 있었다. 조사 대상 오염물질 중에서 독성이 가장 강한 벤젠의 경우에는(OSHA, 1998; OEHHA, 2003) AF\_5와 AF\_6의 배출 속도가 가장 크기 때문에 이들 방향제의 사용시 벤젠 노출도 가장 클 것으로 판단된다.

방향제뿐만 아니라 다른 생활용품에서도 상기 다섯 종류의 오염물질이 배출되는 것으로 보고되었

다. Singer *et al.* (2006)이 방향제에서 배출되는 오염물질들의 배출특성을 조사하였지만, glycol ethers와 terpenoids 두 가지 오염물질에 대해서만 보고하였기 때문에 본 연구 결과와 직접적으로 비교할 수 없기 때문에 본 연구에서 조사된 오염물질에 대하여 다른 가정용품 사용에 따른 배출 특성과 간접적 비교를 시도하였다. Wallace *et al.* (1987)은 액체 가정용 세제와 가구용 왁스에서 벤젠이 배출되는 것으로 보고하였다. 에틸벤젠은 가정용 세제와 광택제(Sack *et al.*, 1992) 및 액체 왁스(Knöppel and Schauenberg, 1989)에서 방출되는 것으로 보고되었

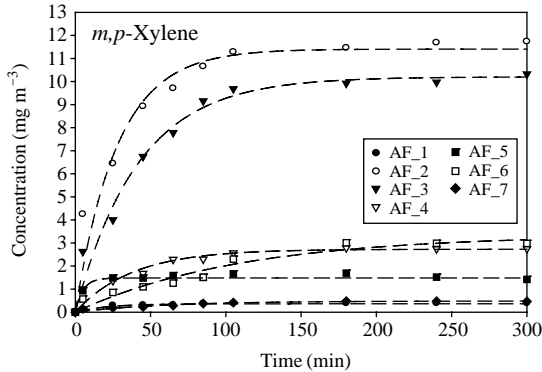


Fig. 6. Concentration-time profile of *m,p*-xylene according to air fresheners. The dots and curves reveal experimental and predicted values, respectively.

다. Zhu *et al.* (2001)은 리모넨이 대부분의 가정용품에서 방출되는 것으로 보고하였다. 톨루엔의 경우, 화장실 살균용 세제 (Akland and Whitaker, 2000), 항 박테리아제 (Zhu *et al.*, 2001), 가정용 세제 및 광택제 (Sack *et al.*, 1992), 접착제, 액체 세제 및 마루용 왁스 (Knöppel and Schauenberg, 1989)에서, 자일렌은 액체 세제와 광택제에서 방출되는 것이 확인되었다 (Wallace *et al.*, 1987; Sack *et al.*, 1992).

방향제에서 방출되는 오염물질의 양을 평가하기 위하여 다음의 방정식을 이용하여 일곱 개 방향제에 대하여 오염물질별로 배출 속도를 산정하였다:

$$E=VA(C_{ss}-C_i) \tag{4}$$

여기서, E는 배출 속도( $\mu\text{g h}^{-1}$ ), V는 챔버의 체적( $\text{m}^3$ ), A는 공기교환률( $\text{h}^{-1}$ ) 그리고  $C_{ss}$  ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )와  $C_i$  ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )는 각각 정상상태 조건에서 오염물질 농도 및 초기 농도를 나타낸다. 이용된 V는  $0.05 \text{ m}^3$ 이고, A는  $1 \text{ h}^{-1}$ 이다.  $C_{ss}$ 는 Figs. 2~6의 평형 농도이고, 실험 수행 전에 챔버 내부의 오염물질 농도는 불검출이므로  $C_i$ 는 제로이다. 이어서, 산정된 배출 속도에 소모된 방향제의 질량을 나누어서 배출 계수를 계산하였다. Table 2에 산정된 배출 속도와 배출 계수를 나타내었다. 배출 계수가 방향제 종류에 따라 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 예를 들면, AF\_4와 비교할 때 AF\_6는 벤젠의 배출 계수가 100배 정도 높은 것으로 산정되었다. 오염물질의 종류에 따라라도 배출 계수가 큰 차이를 나타내었다. 예를 들면, 조사된 모든 방향제에 대하여

벤젠 배출계수와 비교할 때 ( $0.03 \sim 3.0 \mu\text{g h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ) 톨루엔 배출계수 ( $4.5 \sim 132 \mu\text{g h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ )가 훨씬 높게 나타났다. 방향제에서 방출되는 오염물질의 배출 계수에 대한 선행 연구를 찾을 수 없었기 때문에, 다른 가정용품에서 방출되는 오염물질의 배출 속도와 비교하였다. Colombo *et al.* (1991)이 가정용 세제에서 리모넨의 배출 속도가  $153 \mu\text{g h}^{-1}$ 로 보고하여 본 연구 결과의 방향제에서 방출되는 리모넨 배출 속도 범위 안 ( $2.2 \sim 295 \mu\text{g h}^{-1}$ )에 있는 것으로 나타났다.

## 2. 노출 평가

일반 가정에서 방향제에서 방출되는 오염물질에 의해서 거주자들의 노출과 이로 인한 건강 위해성을 평가하기 위하여 일차적으로 방향제 사용에 따른 실내 농도를 실내 공기질 모델에서 유도된 상기 식 (4)를 이용하여 추산하였다. 선행연구에서 여러 차례 적용되고 체적이  $17.4 \text{ m}^3$ 인 일반 가정의 표준 방 (standard room)에서 방향제를 사용하는 경우를 가정하여 실내 농도를 계산하였다 (Jensen *et al.*, 1995; Wolkoff and Nielsen, 1996; Wolkoff, 1998). 계산의 복잡성을 최소화하기 위하여, 이러한 표준 방에서 공기는 혼합이 잘 되었고, 방의 벽, 천정 또는 바닥 표면에 오염물질의 흡착과 탈착이 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 표준 방에서 평균 공기 교환률은  $0.5 \text{ h}^{-1}$ 로 가정하고 (Wolkoff and Nielsen, 1996), 방향제의 오염물질 배출 속도는 일정하고, 일일 24시간 전체에 걸쳐 오염물질이 배출되는 것으로 가정하였다. 표준 방에서의 초기 오염물질 농도는 선행 연구들 (Chuang *et al.*, 1999; Jo and Moon, 1999) 배경 농도를 이용하였다 (Table 3).

이렇게 산정된 실내 농도와 다음의 관계식을 이용하여 방향제 사용에 따른 오염물질 노출량을 계산하였다:

$$E_{in}=C_{air} \times I \times T/W \tag{5}$$

여기서,  $E_{in}$ 은 일일 흡기 노출량 ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ),  $C_{air}$ 는 오염물질 평균 농도 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), I는 호흡률 ( $\text{m}^3 \text{ day}^{-1}$ ), T는 노출 시간 (day) 그리고 W는 성인 평균 체중 (kg)이다. 이 방정식에 이용된 변수 중 하루 공기 흡입률은  $9.6 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$  (환경부, 2007) 그리고 인체 흡수율은 100%이다 (USEPA, 1997; EHD, 1998). 현

**Table 2.** Model parameters, emission rates, and emission factors for individual target compounds

Compound	Type	R <sup>2</sup>	K <sup>1</sup> , linear parameter (mg m <sup>-3</sup> )	K <sup>2</sup> , rate parameter (min <sup>-1</sup> )	Emission rate (µg h <sup>-1</sup> )	Emission factor (µg h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> )
Benzene	AF_1	0.96	0.0086	0.031	0.43	0.14
	AF_2	0.87	0.0083	0.31	0.42	0.15
	AF_3	0.98	0.0073	0.019	0.37	0.14
	AF_4	0.92	0.0024	0.02	0.12	0.03
	AF_5	0.95	0.17	0.025	8.5	2.4
	AF_6	0.92	0.13	0.048	6.5	3.0
	AF_7	0.96	0.0049	0.039	0.25	0.13
Ethyl benzene	AF_1	0.91	0.16	0.18	8.0	2.7
	AF_2	0.98	2.15	0.029	108	38
	AF_3	0.70	0.44	0.027	22	8.5
	AF_4	0.94	0.83	0.0022	42	10.5
	AF_5	0.89	0.15	0.031	7.5	2.1
	AF_6	0.90	0.16	0.18	8.0	3.6
	AF_7	0.96	3.19	0.045	160	80.2
Limonene	AF_1	0.92	0.099	0.081	5.0	1.7
	AF_2	0.87	2.17	0.12	109	39
	AF_3	0.98	5.89	0.027	295	113
	AF_4	0.89	4.6	0.019	230	5.8
	AF_5	0.89	0.44	0.18	22	6.3
	AF_6	0.93	0.34	0.059	17	7.7
	AF_7	0.79	31.22	0.044	1564	708
Toluene	AF_1	0.95	0.35	0.12	18	6
	AF_2	0.92	1.23	0.14	62	22
	AF_3	0.99	6.85	0.023	343	132
	AF_4	0.89	0.36	0.048	18	4.5
	AF_5	0.97	7.32	0.18	366	105
	AF_6	0.95	1.57	0.14	79	35.9
	AF_7	0.94	0.85	0.047	43	23.5
<i>m,p</i> -Xylene	AF_1	0.97	0.36	0.048	18	6
	AF_2	0.95	11.4	0.036	570	204
	AF_3	0.98	10.2	0.024	510	196
	AF_4	0.93	2.73	0.026	137	34.3
	AF_5	0.97	1.55	0.18	78	22.3
	AF_6	0.95	3.36	0.0092	168	76.4
	AF_7	0.94	0.48	0.017	24	12.3

대 생활에서 개인이 실내에서 보내는 시간이 일상 생활의 85% 이상이므로(USEPA, 1997) 노출 시간은 가중치 0.85를 고려하여 결정되었다. 성인 평균 체중은 62.8kg으로 가정하였다(환경부, 2007).

배경 농도와 더불어 추산된 실내 공기 농도를 Table 3에 나타내었다. 벤젠의 추산 농도와 배경 농도비가 1.0~1.2로서 배경 농도와 추산된 실내 공기 농도 사이의 차이는 크지 않았다. 즉, 방향제 사

용시 벤젠이 방출되기는 하지만, 방향제 사용이 실내 벤젠 농도에 유의한 수준으로 증대시킬 수준이 되지 못하는 것으로 추산되었다. 그러나, 다른 조사 대상 오염물질의 경우, 사용하는 방향제의 종류에 따라 실내 공기 농도를 상당 수준으로 증대시킬 수 있는 것으로 나타났다. 에틸 벤젠은 방향제 종류에 따라 배경 농도에 대한 추산 농도 비가 1.2~4.8 범위로 나타났다. 리모넨의 경우, 배경 농도에



**Table 3.** Background and estimated VOC indoor concentrations and exposure levels according to air freshener type

Compound	Type	Background conc. ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Estimated conc. ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Ratio	Exposure ( $\mu\text{g d}^{-1} \text{kg}^{-1}$ )
Benzene	AF_1	5.8	5.9	1.0	0.76
	AF_2	5.8	5.8	1.0	0.76
	AF_3	5.8	5.8	1.0	0.76
	AF_4	5.8	5.8	1.0	0.76
	AF_5	5.8	6.8	1.2	0.87
	AF_6	5.8	6.5	1.1	0.87
	AF_7	5.8	5.8	1.0	0.76
Ethyl benzene	AF_1	4.9	5.8	1.2	0.76
	AF_2	4.9	17.3	3.5	2.28
	AF_3	4.9	7.4	1.5	0.98
	AF_4	4.9	9.7	2.0	1.25
	AF_5	4.9	5.8	1.2	0.76
	AF_6	4.9	5.8	1.2	0.76
	AF_7	4.9	23.3	4.8	3.04
Limonene	AF_1	2.2	2.8	1.3	0.38
	AF_2	2.2	14.7	6.7	1.90
	AF_3	2.2	36.1	16.4	4.72
	AF_4	2.2	28.6	13.0	3.75
	AF_5	2.2	4.7	2.1	0.60
	AF_6	2.2	4.2	1.9	0.54
	AF_7	2.2	386	175	49.9
Toluene	AF_1	35	37.1	1.1	4.83
	AF_2	35	42.1	1.2	5.48
	AF_3	35	74.4	2.1	9.72
	AF_4	35	37.1	1.1	4.83
	AF_5	35	77.1	2.2	10.04
	AF_6	35	44.1	1.3	5.75
	AF_7	35	39.9	1.1	5.21
<i>m,p</i> -Xylene	AF_1	14	16.1	1.1	2.12
	AF_2	14	79.5	5.7	10.37
	AF_3	14	62.6	4.5	8.14
	AF_4	14	29.7	2.1	3.85
	AF_5	14	23.0	1.6	2.99
	AF_6	14	33.3	2.4	4.34
	AF_7	14	16.8	1.2	2.17

대한 추산 농도 비가 훨씬 큰 1.1~175 범위로 나타났고, 특히 세 개의 방향제(AF\_3, AF\_4와 AF\_7)는 각각 16배, 13배 및 175배)가 높은 실내 리모넨 농도를 유발시킬 수 있는 것으로 나타났다. 톨루엔과 자일렌의 배경 농도에 대한 추산 농도 비가 각각 1.1~2.2 및 1.1~5.7 범위로 리모넨 보다는 훨씬 낮게 나타났다

Table 3은 방향제 사용에 따른 흡기 노출량도 나

타낸다. 벤젠의 노출량은  $0.76 \sim 0.87 \mu\text{g d}^{-1} \text{kg}^{-1}$  으로서 벤젠의 발암잠재력인  $3.6 \times 10^{-2} \text{mg d}^{-1} \text{kg}^{-1}$  (IARC, 2002)를 고려할 때 방향제 사용이 벤젠 노출로 인한 건강 위해성이 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다. 에틸 벤젠, 톨루엔 및 자일렌의 노출량 범위도 각각  $0.76 \sim 3.04 \mu\text{g d}^{-1} \text{kg}^{-1}$ ,  $4.83 \sim 10.04 \mu\text{g d}^{-1} \text{kg}^{-1}$  그리고  $2.12 \sim 10.37 \mu\text{g d}^{-1} \text{kg}^{-1}$  로서 흡기 노출로 인해 독성 영향이 일어나지 않을

가장 낮은 농도(NOEL, No Observed Adverse Effect Level) 또는 가장 낮은 독성 영향을 유발시키는 가장 낮은 농도(LOAEL, Lowest Observed Adverse Effect Level)가 각각  $434 \text{ mg m}^{-3}$ ,  $119 \text{ mg m}^{-3}$  및 39를 고려할 때(OEHHA, 2003), 비록 방향제 이들 오염물질의 실내 농도를 증대시킬 수는 있지만, 인체 위해성에 대한 영향은 크지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 리모넨의 경우 상기 세 방향제(AF\_3, AF\_4와 AF\_7)를 사용함으로써 거주자가 받을 수 있는 흡기 노출량 자체도 적지 않지만, 리모넨은 실내 화학 반응을 통해 포름알데히드와 2차 입자상 오염물질을 생성시키는 전구물질이므로(Weschler and Shields, 1999; Atkinson and Arey, 2003) 실내 거주자들의 실내 공기오염으로 인한 인체 위해성을 최소화시키기 위해서는 리모넨 배출이 큰 AF\_3, AF\_4와 AF\_7은 선택하지 않도록 추천된다.

## 결 론

환경 챔버법을 활용하여 국내 시판 방향제에서 방출되는 유해 성분들을 정량적으로 분석하고, 방향제 사용과 관련한 유해 성분 노출을 평가하였다. 방향제 종류 또는 오염물질의 종류에 따라서 챔버 농도, 배출 속도 및 배출계수가 다르다는 것이 확인되었다. 일곱 가지 방향제에 대한 챔버 농도 실험값과 모델식을 이용하여 계산된 예측값을 오염물질에 따라 비교한 결과, 대부분의 경우  $R^2$ 가 0.9에 가깝거나 0.9보다 크게 나타나, 확립된 모델이 챔버 농도를 예측하는데 적절하게 사용될 수 있는 것으로 나타났다. 실내 공기 모델을 이용하여 방향제 사용에 따른 실내 공기 농도와 실내 거주자들의 노출을 평가한 결과, 리모넨을 제외한 다른 조사 대상 오염물질들 모두가 조사한 방향제 모두에서 방출은 되지만, 노출량과 발암 잠재력, NOEL 또는 LOAEL을 비교한 결과 인체 위해성은 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나, 리모넨의 경우, 세계의 방향제(AF\_3, AF\_4와 AF\_7)를 사용함으로써 거주자가 받을 수 있는 흡기 노출량 자체도 적지 않지만, 리모넨은 실내 화학 반응을 통해 포름알데히드와 2차 입자상 오염물질을 생성시키는 전구물질이므로 실내 거주자들의 실내 공기오염으로 인한 인체 위해성을 최소화시키기 위해서는 리모넨

배출이 큰 방향제는 선택하지 않도록 추천된다. 한편, 방향제 사용에 의한 어린이 등 환경오염물질에 민감한 집단의 위해성이 일반 성인보다 높을 수 있으므로, 방향제 사용에 의한 노출을 정밀하게 평가하기 위해서는 이러한 집단 특수성이 고려되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단(No. R01-2006-000-10851-0)의 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 환경부, 한국노출계수핸드북, 아주대학교 예방의학교실, 2007; p. 226.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). Standard guide for small-scale environmental chamber determinations of organic emissions from indoor materials/products, STD-ASTM D 5116-97, 1998.
- Akland G and Whitaker DA. Characterizing the sources of human exposure to Proposition 65 substances. RTI/6830/02-03 F, Research Triangle Institute, Research Triangle Park, NC, 2000.
- Atkinson R and Arey J. Gas-phase tropospheric chemistry of biogenic volatile organic compounds: a review, *Atmos Environ* 2003; 37: 197-219.
- Chuang JC, Callahan PJ, Lyu CW and Wilson NK. Polycyclic aromatic hydrocarbon exposures of children in low-income families, *J Expo Anal Env Epid* 1999; 9: 85-98.
- Colombo A, De Bortoli M, Knoppel H, Schauenburg H and Vissers H. Small chamber tests and headspace analysis of volatile organic compounds emitted from household products, *Indoor Air* 1991; 1: 13-21.
- EC (European Community). Regulation No 648/2004 of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 on detergent, *Official Journal L* 104, 08/-4/2004, 2004; 1-35.
- EHD (Environmental Health Directorate). Exposure factors for assessing total daily intake of Priority Substances by the general population of Canada. Unpublished report, March 1998, Priority Substances Section, Environmental Health Directorate, Health Canada, Ottawa, 1998.
- EIIP (Emission Inventory Improvement Program). Consumer and Commercial Solvent Use, Final Report Volume III:

- Chapter 5, 1996.
- Guo H, Murray F and Lee SC. The development of volatile organic compound emission house-a case study, *Build Environ* 2003; 38: 1413-1422.
- Habib RR, El-Masri A and Heath RL. Women's strategies for handling household detergents, *Environ Res* 2006; 100: 184-194.
- IARC (International Agency for Research on Cancer). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 82. IARC, Lyon, France, 2002; 367.
- Jensen B, Wolkoff P, Wilkins CK and Clausen PA. Characterization of linoleum: Part 1. Measurement of volatile organic compounds by use of the field and laboratory emission cell "FLEC", *Indoor Air* 1995; 5: 38-43.
- Jo WK and Moon KC. Housewives' exposure to volatile organic compounds relative to proximity to roadside service stations, *Atmos Environ* 1999; 33: 2921-2928.
- Katsoyiannis A, Leva P and Kotzias D. Determination of volatile organic compounds emitted from household products: the case of velvet carpets (Moquettes), *Fresen Environ Bull* 2006; 7: 943-949.
- Kemmlin S, Hahn O and Jann O. Emissions of organophosphate and brominated flame retardants from selected consumer products and building materials, *Atmos Environ* 2003; 37: 5485-5493.
- Knöppel H and Schauenburg H. Screening of household products for the emission of volatile organic compounds, *Environ Int* 1989; 15: 413-418.
- Kwon K-D and Jo W-K. Indoor emission characteristics of liquid household products using purge-and-trap method, *Environ Eng Res* 2007; 12: 203-210.
- Li M, Wu C-L, Zhao A-Q and Yang Y. State-space model for airborne particles in multizone indoor environments, *Atmos Environ* 2008; 42: 5340-5349.
- Lin C-C, Yu K-P, Zhao P and Lee GW-M. Evaluation of impact factors on VOC emissions and concentrations from wooden flooring based on chamber tests, *Build Environ* 2009; 44: 525-533.
- Mølhave L, Bach B and Pedersen O. Human reactions during controlled exposures to low concentrations of organic gases and vapours known as normal indoor air pollutants. In: Berglund B, Lindvall T and Sundell, J (eds.), *Indoor Air*, Vol. 3, Sensory and Hyper-reactivity Reactions to Sick Buildings, Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden, 1984; pp. 431-436.
- Nilsen SK, Dahl I, Jorgensen O and Schneider T. Micro-fiber and ultra-micro-fiber cloths, their physical characteristics, cleaning effect, abrasion on surfaces, friction, and wear resistance, *Build Environ* 2002; 37: 1373-1378.
- Nazaroff WW. Inhalation intake fraction of pollutants from episodic indoor emissions, *Build Environ* 2008; 43: 269-277.
- Nazaroff WW and Weschler CJ. Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants, *Atmos Environ* 2004; 38: 2841-2865.
- OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment). Proposition 65 Status Report Safe Harbor Levels: No Significant Risk Levels for Carcinogens and Maximum Allowable Dose Levels for Chemicals Causing Reproductive Toxicity. California Environmental Protection Agency, OEHHA, Sacramento, CA, 2003 (<http://www.oehha.ca.gov/prop65/pdf/june2003StatusReport.pdf>).
- OSHA (Occupational Safety and Health Administration). Occupational health and safety standards, toxic and hazardous substances. Code of Federal Regulations. 29 CFR Part 1910: 1000, Washington, DC, 1998.
- Rogers RE, Isola DA, Jeng C-J, Lefebvre A and Smith LW. Simulated inhalation levels of fragrance materials in a surrogate air freshener formulation, *Environ Sci Technol* 2005; 39: 7810-7816.
- Rusin P, Orosz-Coughlin P and Gerba C. Reduction of faecal coliform, coliform and heterotrophic plate count bacteria in the household kitchen and bathroom by disinfection with hypochlorite cleaners, *J App Microbiol* 1998; 85: 819-828.
- Sack TM, Steele DH, Hammerstrom K and Remmers J. A survey of household products for volatile organic compounds, *Atmos Environ* 1992; 26: 1063-1070.
- Salthammer T. Volatile organic ingredients of household and consumer products, In: Salthammer, T. (Ed.), *Organic Indoor Air Pollutants*, Wiley-VCH, Weinheim, 1999; 219-232.
- Singer BC, Destailhats H, Hodgson AT and Nazaroff WW. Cleaning products and air fresheners: emissions and resulting concentrations of glycol ethers and terpenoids, *Indoor Air* 2006; 16: 179-191.
- Su HJ, Chao CJ, Chang HY and Wu PC. The effects of evaporating essential oils on indoor air quality, *Atmos Environ* 2007; 41: 1230-1236.
- Tamás G, Weschler CJ, Toftum J and Fanger PO. Influence of ozone-limonene reactions on perceived air quality, *Indoor Air* 2006; 16: 168-178.
- USEPA (United States Environmental protection Agency). Exposure factors handbook: Volume III. Activity factors. EPA/600/P-95/002Fc Washington, DC: Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, 1997.
- USEPA (United States Environmental protection Agency).

- Volatile organic Compounds in Various Sample Matrices Using Equilibrium Headspace Analysis, USEPA Method 5021A, Revision 1, 2003a.
- USEPA (United States Environmental protection Agency). Volatile organic Compounds in Various Sample Matrices Using Equilibrium Headspace Analysis, USEPA Method 5021A, Revision 1, June 2003b.
- Wainman T, Zhang J, Weschler CJ and Liou PJ. Ozone and limonene in indoor air: a source of submicron particle exposure, *Environ Health Persp* 2000; 108: 1139-1145.
- Wallace LA, Pellizzari E, Leaderer B, Zelon H and Sheldon L. Emissions of volatile organic compounds from building materials and household products, *Atmos Environ* 1987; 21: 385-393.
- Weschler CJ and Shields HC. Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles, *Atmos Environ* 1999; 33: 2301-2312.
- Wilke O, Jann O and Brodner D. VOC- and SVOC-emissions from adhesives, floor coverings and complete floor structures, *Indoor Air* 2004; 14: 98-107.
- Wolkoff P. Impact of air velocity, temperature, humidity, and air on long-term VOC emissions from building products, *Atmos Environ* 1998; 32: 2659-2668.
- Wolkoff P and Nielsen PA. A new approach for indoor climate labelling of building materials-emission testing, modelling, and comfort evaluation, *Atmos Environ* 1996; 30: 2679-2689.
- Wolkoff P, Schneider T, Kildesø J, Degerth R, Jaroszewski M and Schunk H. Risk in cleaning: chemical and physical exposure, *Sci Total Environ* 1998; 215: 135-156.
- Zhu J, Cao XL and Beauchamp R. Determination of 2-butoxy ethanol emissions from selected consumer products and its application in assessment of inhalation exposure associated with cleaning tasks, *Environ Int* 2001; 26: 589-597.