

## 가정용 모기살충제의 배출 특성 및 배출계수를 이용한 실내 휘발성 유기화합물질 노출 평가

조완근 · 이종효\*

경북대학교 환경공학과, \*(주)금호석유화학  
(2009년 5월 5일 접수; 2009년 7월 13일 수정; 2009년 7월 22일 채택)

## Evaluation of Exposure to Indoor Volatile Organic Compounds by Utilizing Emission Characteristics and Emission Factor of Household Mosquito Repellents

Wan-Kuen Jo and Jong-Hyo Lee\*

*Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea*

*\*Safety Management Team, Kumho Petrochemical Corporation, Jeonnam 555-280, Korea*

(Manuscript received 5 May, 2009; revised 13 July, 2009; accepted 22 July, 2009)

### Abstract

This study was designed to evaluate qualitatively and quantitatively the pollutant compositions, which were emitted from three types of mosquito repellents(MRs)(mat-, liquid-vaporized, and coil-type) by utilizing a 50-L environmental chamber. A qualitative analysis revealed that 42 compounds were detected on the gas chromatography/mass spectrometer system, and that the detection frequency depended upon chemical types. Nine of the 42 compounds exhibited a detection frequency of 100%. Four aromatic compounds(benzene, ethyl benzene, toluene, and xylene) were detected in all test MRs. The concentration equilibriums in the environmental chamber were achieved within 180 min after sample introduction. The coil-type MR represented higher chamber concentrations as compared with the mat- or liquid-vaporized-type MR, with respect to the target compounds except for naphthalene. In particular, the chamber concentrations of ethyl benzene, associated with the use of coil-type MR, were between 0.9 and 65 mg m<sup>-3</sup>, whereas those of mat- and liquid-vaporized-type MRs were between 0.5 and 2.0 mg m<sup>-3</sup> and 0.3 and 1.4 mg m<sup>-3</sup>, respectively. However, naphthalene concentrations in the chamber, where a liquid-vaporized-type MR was placed, were measured as between 17.8 and 56.3 mg m<sup>-3</sup>, but not detected in the chamber, where a mat- or coil-type MR was placed. The empirical model fitted well with the time-series concentrations in the environmental chamber(in most cases, determination coefficient, R<sup>2</sup> ≥ 0.9), thereby suggesting that the model was suitable for testing emissions. In regards to the target compounds except for benzene, although they were emitted from the MRs, health risk from individual exposure to them were estimated not to be significant when comparing exposure levels with no observed adverse exposure levels or lowest observed adverse exposure levels of corresponding compounds. However, it was concluded that the use of MRs could be an important indoor source as regards benzene.

**Key Words** : Mosquito repellent, Mat-type, Liquid-vaporized, Coil-type, Chamber concentration

## 1. 서 론

모기와 같은 병원성 세균을 보유하고 있는 유기체는 어떤 감염성 질병을 전달할 수 있다. 특히, 말라리아를 일으키는 60종의 모기 중 감염되지 않은 암놈 한 마리가 말라리아에 감염된 사람의 피를 빨아먹은 후, 감염되지 않은 사람을 물 때에 그 사람은 말라리아에 감염되게 된다. 이러한 일이 일어날 때에, 병원성 기생균들은 모기에게서 나와서 사람의 혈류로 들어가고 간에서 증식을 하고 난 후에 혈액 세포로 들어가서 계속적으로 증식하게 된다<sup>1)</sup>. 모기 퇴치제(mosquito repellents)를 사용함으로써 말라리아를 포함하여 모기가 감염시키는 여러 질병들을 감소시킬 수 있었다<sup>2)</sup>. 그러나, 모기 퇴치제와 이러한 잇점과는 달리 최근 일부 연구자들은 모기 퇴치제가 주요한 실내 공기 오염원이 될 수 있는 것으로 보고하였다<sup>2~5)</sup>. 코일형 모기 퇴치제의 경우, 휘발성 유기화합물질(VOCs: volatile organic compounds), 카르보닐계 화합물질, 다환방향족 탄화수소(PAHs: polycyclic aromatic compounds), 중금속 및 미세 분진과 같은 독성 오염물질을 배출시키는 것으로 확인되었다. 이러한 오염물질들은 발암성, 자극성, 생식기 독성 또는 신경계 독성을 가진다<sup>6,7)</sup>. 실제로 Azizi와 Henry<sup>8)</sup>는 모기향 연소시 발생하는 연기에 노출되면 천식과 지속적인 콧물 증세가 유발되는 것으로 보고하였다. 나아가, 모기향 연기에 노출된 실험 쥐에서 기관지 상피 조직의 병소 감염, 상피세포의 염증, 간장 조직 손상, 폐의 섬유화, 폐포의 기형적 변화 및 염색체 변이가 발생한 것으로 보고되었다<sup>9~14)</sup>.

모기 퇴치제는 주로 아시아, 남 아메리카와 아프리카 국가를 중심으로 가정과 사무실에서 보편적으로 사용되고 있는 실정이다<sup>2)</sup>. 국내 대형 마트의 담당자에 따르면, 가장 인기 있는 모기 퇴치제 종류는 전기 매트, 증기-훈증형, 코일형 그리고 액체-분사형의 네 가지이다. 전기 매트형 모기 퇴치제는 모기 퇴치 성분을 함유한 매트를 전기적으로 가열하여 휘발시키는 형식으로 작동된다. 액체-분사형은 액체 성분을 공기로 미스트 형태의 모기 퇴치 성분을 분사시킨다. 증기-훈증형은 액체 모기 퇴치 성분을 전기적으로 가열하여 공기 중으로 확산시키며, 코

일형은 코일을 태워서 연기를 생성시켜서 모기를 퇴치시킨다. 이렇게 다양한 종류의 모기 퇴치제가 사용되고 있는데도 불구하고, 모기 퇴치제 사용에 따른 독성 물질에 대한 노출과 위해성에 대한 자료가 부족하다 보니까, 사용자들은 모기 퇴치제 사용시 인체 위해성에 대하여 막연한 불안감을 가지고 있는 실정이다. 나아가, 코일형 모기 퇴치제 사용시 방출되는 오염물질과 인체 위해성에 대해서는 충분하지는 않지만 선행 연구가 수행되었지만<sup>6~8)</sup>, 전기 매트, 증기-훈증형 및 액체-분사형 모기 퇴치제 사용과 관련한 오염물질 배출 특성 또는 인체 위해성에 대한 연구 자료는 찾지 쉽다.

본 연구에서는 국내 시판 세 가지 종류(전기 매트, 증기-훈증형 및 코일형)의 모기 퇴치제에서 방출되는 오염물질 성분들의 특성을 평가하고 모기 퇴치제 사용과 관련한 유해 성분 노출에 대하여 평가하고자 한다. 액체-분사형 모기 퇴치제의 배출 특성을 평가하기 위해서는 다른 모기 퇴치제 종류와 다른 실험 시스템이 요구되기 때문에 액체-분사형 모기 퇴치제는 연구 본 연구에 포함시키지 않았다. 조사대상 모기 퇴치제를 선정하기 위하여 국내에서 매출규모 큰 두 개의 대형 할인점(이-마트와 홈플러스)을 중심으로 모기 퇴치제 판매실적을 담당하는 담당자와 실제 판매원 모두와 인터뷰를 하였고, 이 결과에 기초하여 상기 세 가지 모기 퇴치제 종류 각각에 대하여 판매 실적이 가장 높은 두 제품씩을 선정하였다. 본 연구 목적을 달성하기 위하여, 일단계로 헤드-스페이스법(head-space method)<sup>15,16)</sup>을 활용하여 모기 퇴치제의 배출 특성을 평가하고, 이 결과를 이용하여 다음 단계의 실험을 위한 조사 대상 오염물질 다섯 가지(벤젠, 에틸벤젠, 톨루엔, 자일렌 및 나프탈렌)를 선정하였다. 이 단계 실험에서는 환경 챔버<sup>17~19)</sup>를 이용하여 모기 퇴치제 종류별로 한 개 제품을 선정하여 모기 퇴치제에서 방출되는 오염물질의 농도를 측정하고 이 자료를 실험적 모델식에 적용시켜 배출 속도를 산정하고 배출량을 정량적으로 평가하였다. 실내 환기가 실내 공기 농도에 영향을 미치는 주요 인자이므로 실험실 조건의 환경 챔버 연구가 세 개의 다른 공기 교환율(air exchange rate) 조건(0.5, 1 및 2 h<sup>-1</sup>)에서 수행되었다. 나아가, 모기 퇴치제에서 방출되는 유해 성분들의 정

량적인 분석 결과와 더불어 실내 활동도와 노출 특성을 이용하여 실내 공간에서 모기 퇴치제 사용과 관련한 노출 평가를 수행하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 오염물질의 정성적 배출 특성 평가

모기 퇴치제의 오염물질의 배출 특성을 정성적으로 평가하기 위하여 헤드-스페이스법을 이용하였다. 액체 모기 퇴치제는 피펫 및 시약스푼을 이용하여 8 ml를 취하고, 고체 모기 퇴치제는 8 g을 취하여 40 ml 밀폐용기로 주입하였다. 모기 퇴치제로부터 오염물질을 휘발시키기 위해서 밀폐용기를 온도가 60°C로 일정하게 유지된 항온 수조에 넣어서 60분 동안 방치하였다. 자료의 질 보증을 위하여 유사한 실험 과정을 거쳐 빈 밀폐용기에 대하여 배경 오염도를 평가하였다. 다음 단계에서는, 미리 깨끗하게 세척된 5 ml 용량의 가스 실린지를 이용하여 천천히 밀폐용기공간으로 삽입하여 시료 1 ml를 채취하여 전 처리된 Tenax TA 트랩(trap)으로 시료를 이전 흡착시켰다. 트랩에 흡착된 시료는 열탈착기(Perkin Elmer ATD 400)가 부착된 기체크로마토그래프/질량 분석기(GC/MS, GC; SHIMADZU 2010, MS; SHIMADZU QP2010)를 이용하여 분석하였다.

### 2.2. 환경 챔버 실험

헤드-스페이스법에서 확인한 모기 퇴치제에서 배출되는 오염물질 중 검출 빈도가 100%이면서 독성 물질 목록(Proposition 65)<sup>7)</sup>에 포함된 오염물질 네 종류(벤젠, 에틸벤젠, 톨루엔, 자일렌)와 검출 빈도는 낮지만, 독성 목록에 포함된 나프탈렌을 세부 정량 평가를 위한 조사 대상오염물질로 선정하였다. 세 가지 종류(전기 매트, 증기-훈증형 및 코일형) 모기 퇴치제에 대하여 헤드-스페이스법에서 확인된 배출 자료에서 상대적으로 큰 크로마토그램의 피크 면적을 나타낸 모기 퇴치제를 선정하고 환경 챔버를 이용하여 모기 퇴치제에서 배출되는 오염물질들을 정량적으로 평가하였다. Fig. 1은 환경 챔버 실험 시스템을 나타낸다. 환경 챔버(50 리터 용량)는 내부 벽의 표면에 흡착 및 반응성을 줄이거나 저감할 수 있도록 전기적으로 전처리된 스테인레스 스틸(SS) 재질로 제작되었다(ASTM, 1998). 환경챔버 상부를 입

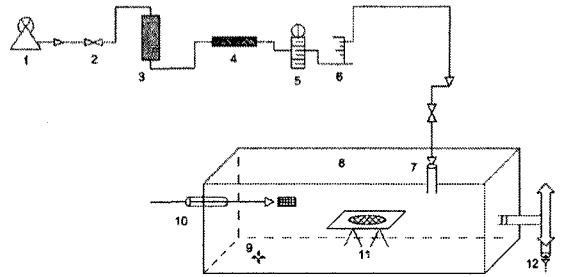


Fig. 1. Schematic diagram of environmental-chamber tests: 1) air cylinder; 2) valve; 3) fine-particle filter; 4) activated charcoal; 5) mass-flow controller; 6) flow controller(dry air); 7) inlet port; 8) stainless steel chamber; 9) mechanical fan; 10) temperature and relative humidity monitoring device; 11) test specimen ; 12) air sampling port.

구로 활용하고 밀폐는 실리콘 가스켓(Gasket)을 이용하였다. 공기 유입과 출구, 기기 연결 그리고 시료 채취를 위해서 SS 챔버의 벽면에 여러 개의 1/4 인치 외경 크기로 구멍을 뚫었다. 각 구멍은 Swagelok 밸브 또는 테프론 테이프를 이용하여 공기의 누출이 없도록 관리되고 환경 챔버 내부의 청정 공기는 영점등급 공기 실린더로부터 공급되었다. 챔버의 배출 시료 채취구를 통하여 배출되는 유해오염물질의 양은 적지만 실험실 후드를 통하여 외부로 배출되었다. 시료 채취용량은 챔버 유입구 유량의 50% 이내로 유지시켰고 질량 유량계에 의해 조절되었으며, 거품 유량측정기(bubble meter)를 이용하여 측정되었다. 환경챔버 내부의 환기률은 0.5, 1 또는 2 h<sup>-1</sup> (air changes per hour, ACH)로 조절되었다(ASTM, 1998). 챔버 내부의 공기는 금속 팬에 의해 혼합되었고 공기 혼합률의 정도는 여러 개의 시료 채취 장소에서 채취되는 시료의 분석 결과를 비교하여 최적의 조건에서 수행되었다. 디지털 습도계(Thermo Recorder-72S, T&D Co)는 챔버 내부 벽으로부터 5 cm 떨어지고, 공기 유입부와 유출부 사이의 중간 지점에 근접하도록 설치하였다. 실험 전 과정에서 챔버 내부의 온도는 23 ± 2°C로 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 정도를 평가하기 위해서 이산화탄소를 환경챔버 내부로 주입시킨 후, 이산화탄소

의 시간대별 농도관계를 이용하여 결정하였다. 이산화탄소의 농도는 비분산적의선법-분석기(Gastec Model CMDP-10P)를 이용하여 측정하였다.

환경 챔버 내부의 오염 여부와 배경 농도를 조사한 후에 모기 퇴치제를 수평 시료 수용 접시에 둔 후, 예비 실험에서 확인된 바와 같이 시스템 안정화를 위하여 다섯 시간이 경과한 후에 시료 채취를 시작하였다. 실험 초기에는 5 분 또는 15 분 간격으로 시료를 채취하다가 시간이 경과함에 따라 시료 채취 시간 간격을 조금씩 증가 시켰다. 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 전후에 모두 확인되었고 이 두 유량의 평균을 이용하여 채취 부피를 계산하였다.

### 2.3. 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™, Donam)를 이용하였다. 주입된 대상물질의 효율적인 분리를 위해 모세관 칼럼(capillary column; J&W Model Vocol, 60 m × 0.53 mm)을 이용하고, 분리된 오염 물질의 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 초 고순도 질소(99.999%)를 10 ml min<sup>-1</sup>로 흐르게 하고, FID의 불꽃을 일으키기 위해서는 초 고순도 수소와 초 고순도 공기를 이용하였다. 또한 GC 항온조(oven)의 경우에는 40℃에서 5 min 간 유지된 후 4℃ min<sup>-1</sup>로 승온하여 100℃에서 20℃ min<sup>-1</sup>로 재 승온 되었으며 최종적으로 200℃에서 5분간 유지될 수 있도록 조절되었다. TD의 경우에는 300℃의 조건으로 10분간 시료가 탈착될 수 있도록 조건을 설정하고 채취된 공기 시료 중 대상물질을 선별하기 위해 -30℃까지 온도 조절이 가능한

저온농축 트랩을 장착하였다. 또한 기타 TD의 조건은 밸브온도 100℃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.

### 2.4. 측정값의 질 보증 및 제어

본 연구에서는 선정된 각 조사 오염물질에 대한 분석결과와 질 보증(Quality assurance; QA)과 질 제어(Quality control; QC)를 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 확인 되었다. 이 확인결과 검량선에서 20% 이상 벗어나면 새로운 검량선을 작성하였다. 시료 채취용 트랩의 컨디셔닝 정도와 보관중 실험실 내부에서 야기될 수 있는 오염정도를 확인하기 위해 50 개의 실험실 공시료가 분석되었는데, 본 실험의 대상오염물질 모두에 대해 당일 포집시료 농도의 10%를 초과하는 2 개 실험실 공시료와 톨루엔이 다량 검출된 3개 시료가 확인되었다. 오염이 확인된 실험실 공시료의 경우 동일한 배치(batch)에서 컨디셔닝된 시료 채취용 트랩에 대해 재 컨디셔닝을 실시하였고, 또한 이때 채취된 현장시료 결과는 본 연구 결과에서 제외하였다. 분석 정밀도와 MDL은 각 오염물질에 대하여 7 회씩 반복 분석하여 통계적으로 계산되었고, 시료의 회수율은 트랩에 기지의 오염물질을 첨가한 후 분석하여 결정되었다. 분석 정밀도는 분석 오염물질 모두에 대하여 10% 이하(5-8%)이고, MDL과 회수율은 오염물질에 따라 각각 0.2-1.5 ng과 87-106% 범위이다.

### 2.5. 실내 공기 실험 모델 방정식

환경 챔버 농도 변화는 다음과 같은 일반 기본 질

량 수치 방정식과 연관된다<sup>20~22</sup>:

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

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 수치 방정식을 간편화 시키기 위하여 두 가지 주요 가정이 제시된다. 첫째, 실험이 진행되는 동안에 오염물질이 일정하게 배출된다. 둘째, 챔버가 화학반응성이 크지 않은 전기로 전 처리된 SS로 제작되었기 때문에 챔버 내벽에서 흡착과 탈착 효과는 크지 않은 것으로 가정하였다. 결과적으로 방정식 (1)은 다음과 같이 축소된다:

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

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 정성적 배출 평가

모기 퇴치제에서 방출되는 오염물질을 정성적으로 평가하기 위해서 헤드-스페이스법을 이용하였다. Table 1에 검출된 오염물질과 해당 검출 빈도수가 나타난다. 아세톤을 포함하여 42개 화합물질이 GC/MS 분석에서 검출되었으며, 화합물질의 종류에 따라 검출 빈도수가 다르게 나타났다. 검출 빈도수가 100%인 화합 물질은 벤젠, 비스(티메틸실릴)아세틸렌, 데칸알, 도데칸, 에틸벤젠, 펜타데칸, 펜탄-1,3-디올디이소부티레이트, 톨루엔 및 자일렌의 9개 물질이다. 이들 중, 벤젠, 에틸벤젠, 톨루엔 및 자일렌의 4개 화합 물질이 독성물질 목록에 포함되어 있다<sup>7</sup>. 벤젠의 공기 흡입에 의한 노출 비율은 약 30 - 65% 정도인데, 일반 대기 중의 벤젠 바탕 농도는 약 3 - 160 μg m<sup>-3</sup> 범위인 것으로 알려져 있다<sup>23,24</sup>. 에틸벤젠의 노출은 피부와 점막 자극 현상을 유발시키고 동물의 경우에는 마취효과도 일어난다. 톨루엔은 주로 중추신경계 손상과 주의력 부족, 언어장애, 성장지연 등의 증상을 유발시키는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 10 - 40 ppm 정도에서는 아무런 증상이 나타나지 않으나 100 ppm 농도의 6시간 노출

**Table 1.** Chemicals semi-qualitatively measured from six mosquito repellents and detection frequency(%), via head-space method

Chemical	No. of products	Detection frequency (%)
Acetone	1	17
Acetonitrile	1	17
Azulene	2	34
Benzaldehyde	1	17
Benzene	6	100
Bis(timethylsilyl)acetylene	6	100
2-Butanone peroxide	2	34
2,2-Butanone oxine	2	34
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol acetate	1	17
Cyclohexane	1	17
Carbon tetrachloride	3	50
Chlorobenzene	1	17
Chloroform	5	83
Decane	3	50
Decanal	6	100
Dodecane	6	100
4-Ethyl toluene	5	83
Furan	2	34
Ethylbenzene	6	100
Hexadecane	3	50
Hexamethylcyclotrisiloxane	4	67
Hexanol	1	17
Isoamyl acetate	1	17
Isoprene	1	17
Isobonyl thiocyanooacetate	1	17
Limonene	1	17
2-Methyltetrahydrofuran	1	17
Methyl acetate	2	34
Naphthalene	3	50
Nonadecane	2	34
Nonanal	3	50
Nerol	1	17
Pentadecane	6	100
Pentan-1,3-dioldiisobutyrate	6	100
Styrene	5	83
γ-Terpinene	1	17
Tetramethylsilane	3	50
Toluene...	6	100
1,3,5-Trimethylbenzene	4	67
1,2,4-Trimethylbenzene	5	83
Undecan	1	17
m.p-Xylene	6	100

을 통해서 눈과 코의 자극, 두통, 현기증 현상들이 야기되고, 임신부의 톨루엔 노출을 통해서 태아의 기형이 보고된 바도 있다<sup>9</sup>. 자일렌은 공기흡입, 음식물 섭취, 피부노출, 흡연 등을 포함한 다양한 인

체 노출경로를 가지며, 이중 공기 흡입을 통한 노출이 약 40 - 65% 정도의 가장 높은 노출 비를 가지는 것으로 알려져 있다<sup>23,24</sup>. 나아가, 검출 빈도수가 100%까지는 되지 않지만, 나프탈렌은 실외 공기 뿐만 아니라 실내 공기에서도 빈번하게 검출이 되고 독성이 강하기 때문에 주요한 실내 환경 오염물질로 주목을 받고 있다<sup>23-26</sup>. 나프탈렌은 다환 방향족 화합물질 중에서 일반 실내의 환경에서 가장 높은 농도로 측정되는 것으로 보고되고 있다<sup>23,24</sup>. 나프탈렌은 흰색의 박편, 결정체 상태로 존재하며, 향을 낸다<sup>27</sup>. 일상생활에 가장 많이 쓰이는 물질 중 하나이며 상온 상압에서 안정된 상태로 나프탈렌이 존재하지만 열, 화염, 스파크 및 기타 점화원에서의 상황을 배제하고는 위험한 물질로는 분류하고 있지 않지만 삼키면 유해하고 호흡기 자극, 피부 자극, 눈 자극, 혈액이상, 알레르기 반응, 동물실험 결과 발암성 의심물질로 여겨지고 있다. 나프탈렌은 독성물질 목록에 포함되어 있고<sup>7</sup>, 유럽연합의 위험 및 안전구문에는 수생생물에 독성이 높고, 수생환경에 장기적 악영향을 유발할 수 있다고 되었다.

### 3.2. 정량적 배출 평가

헤드-스페이스법에서 확인된 오염물질 중 검출 빈도가 100%이면서 독성물질 목록<sup>7</sup>에 포함된 오염물질 네 종류(벤젠, 에틸벤젠, 톨루엔, 자일렌)와 검출 빈도는 낮지만, 독성이 강한 나프탈렌을<sup>7,27</sup> 대상으로 모기 퇴치제 세 종류 각각에 대하여 세부 정량 평가가 수행되었다. Table 2는 선정된 다섯 개 오염물질에 대하여 시간의 함수로서 챔버 농도의 변화를 나타낸다. 네 종류의 방향족 화합물이 조사된 모기 퇴치제 모두에서 검출되었고, 대부분의 챔버 내부 오염물질의 농도는 180 분 이후에 농도 평형이 이루어 졌다. 코일 형 모기 퇴치제가 다른 형태의 모기 퇴치제에 비하여 나프탈렌을 제외하고는 모든 조사 대상 오염물질에 대하여 높은 챔버 농도를 나타내었다. 특히, 에틸벤젠의 경우, 액체 형과 매트형의 챔버 농도 범위가 0.5-2.0 mg m<sup>-3</sup> 및 0.3-1.4 mg m<sup>-3</sup>인 반면에 코일 형의 농도 범위는 훨씬 높은 0.9-65 mg m<sup>-3</sup>의 챔버 농도를 보였다. 그러나, 나프탈렌의 경우, 코일 형과 매트 형에서는 검출되지 않았고, 액체 형에서만 17.8-56.3 mg m<sup>-3</sup>의 농도 범위로 나타났다.

**Table 2.** Variation of chamber concentrations(mg m<sup>-3</sup>) as a function of time

Product	Compounds	Time (min)	Concentration(mg m <sup>-3</sup> )		
			Coil	Liquid	Mat
	Benzene	5	1.9	0.2	0.1
		25	5.5	0.3	0.1
		45	7.9	0.4	0.1
		65	10.5	0.4	0.2
		85	11.0	0.5	0.2
		105	10.7	0.5	0.2
		180	10.9	0.5	0.2
		240	11.0	0.5	0.2
		300	10.8	0.5	0.2
			Ethyl benzene	5	0.9
25	7.5			0.8	0.6
45	24.2			0.9	0.7
65	45.2			1.4	0.7
85	60.6			1.7	0.8
105	64.2			1.8	0.9
180	63.6			1.9	1.3
240	64.5			2.0	1.4
300	65.0			2.0	1.4
Catching Flea	Naphthalene			5	NA
		25	NA	28.5	NA
		45	NA	31.6	NA
		65	NA	39.3	NA
		85	NA	41.0	NA
		105	NA	46.1	NA
		180	NA	53.5	NA
		240	NA	55.8	NA
		300	NA	56.3	NA
			Toluene	5	0.8
25	2.6			3.9	0.1
45	4.3			4.1	0.1
65	5.6			4.3	0.1
85	6.6			4.8	0.2
105	7.5			5.2	0.3
180	7.6			5.9	0.3
240	7.8			6.1	0.3
300	7.6			6.3	0.4
	m.p-Xylene			5	3.6
		25	7.4	5.7	0.8
		45	15.5	6.6	1.4
		65	29.6	7.2	1.9
		85	32.3	8.3	3.2
		105	35.5	9.2	4.1
		180	35.7	9.8	4.4
		240	35.4	9.6	4.4
		300	35.8	9.7	4.5

Note. NA, not available.

모기 퇴치제 뿐만 아니라 다른 생활용품에서도 상기 다섯 종류의 오염물질이 배출되는 것으로 보

고되었다. Wallace 등<sup>28)</sup>은 액체 가정용 세제와 가구용 왁스에서 벤젠이 배출되는 것으로 보고하였다. 에틸벤젠은 가정용 세제와 광택제<sup>29)</sup> 및 액체 왁스<sup>30)</sup>에서 방출되는 것으로 보고되었다. Zhu 등<sup>31)</sup>은 리모넨이 대부분의 가정용품에서 방출되는 것으로 보고하였다. 톨루엔의 경우, 화장실 살균용 세제<sup>32)</sup>, 항박테리아제<sup>31)</sup>, 가정용 세제 및 광택제<sup>29)</sup>, 접착제, 액체 세제 및 마루용 왁스<sup>30)</sup>에서, 자일렌은 액체 세제와 광택제에서 배출되는 것이 확인되었다<sup>28,29)</sup>.

시간에 따른 조사 대상 오염물질의 환경 챔버 내부 농도 변화를 수확모델식에 적용하여 계산된 값과 비교하였다. 사용된 모델식은 상기 (2)식의 해인 다음의 (3)식이다:

$$C_t = A_1(1 - \exp(-A_2t)) \quad (3)$$

여기서,  $C_t$ 는 특정 시간  $t$ (min)에서 오염물질의 농도( $\text{mg m}^{-3}$ ),  $A_1$ 은 선형 인자 계수( $\text{mg m}^{-3}$ ), 그리고  $A_2$ 는 배출 속도 인자 계수( $\text{min}^{-1}$ )를 나타낸다. 조사된 모기 퇴치제에 대한 챔버 농도 실험 값과 모델식 (3)을 이용하여 계산된 예측 값을 오염물질에 따라 Figs. 2-6에 나타내었다. 모기 퇴치제에 대한 챔버 농도 실험 값과 모델식을 이용하여 계산된 예측 값을 오염물질에 따라 비교한 결과, 대부분의 경우 결정 계수( $R^2$ )가 0.9에 가깝거나 0.9 보다 큰 것으로 나타나, 실험 값과 모델 예측 값이 잘 일치함을 알 수 있다. 코일 형 모기 퇴치제의 톨루엔의  $R^2$ 이 0.99로서 가장 높게 나타났고, 액체 형 톨루엔의  $R^2$ 이 0.88로서 가장 낮게 나타났다. 챔버 내부 농도와 밀접한

관계가 있는 선형 변수 값도 네 개 방향측 화합물 모두에 대해서 코일 형이 액체 형과 매트 형에 비하여 훨씬 큰 값을 가지는 것으로 산정되었다.

모기 퇴치제에서 배출되는 오염물질의 양을 평가하기 위하여 다음의 방정식을 이용하여 모기 퇴치제에 대하여 오염물질별로 배출 속도를 산정하였다.

$$SE = Vk(C_s - C_0) \quad (4)$$

여기서, SE는 배출 속도( $\text{mg h}^{-1}$ ), V는 챔버의 체적( $\text{m}^3$ ), k는 공기 공기교환률( $\text{h}^{-1}$ ) 그리고  $C_s$ ( $\text{mg m}^{-3}$ )와  $C_0$ ( $\text{mg m}^{-3}$ )는 각각 정상상태 조건에서 오염물질 농도 및 초기 농도를 나타낸다. 이용된 V는  $0.05 \text{ m}^3$ 이고, k는  $1 \text{ h}^{-1}$ 이다.  $C_s$ 는 Figs. 2-6의 평형 농도이고, 실험 수행 전에 챔버 내부의 오염물질 농도는 불검

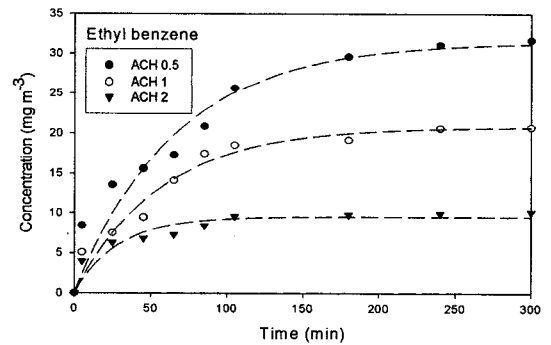


Fig. 3. Concentration-time profile of ethyl benzene under three ACH conditions(0.5, 1, and 2  $\text{h}^{-1}$ ). The dots and curves reveal experimental and predicted values, respectively.

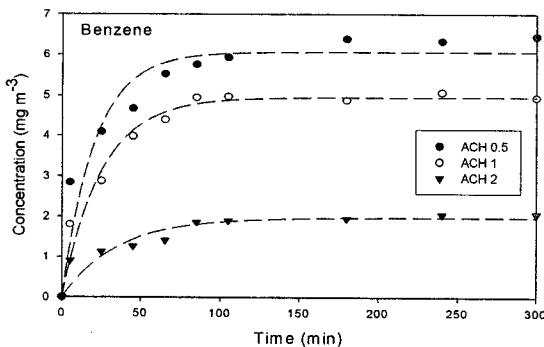


Fig. 2. Concentration-time profile of benzene under three ACH conditions(0.5, 1, and 2  $\text{h}^{-1}$ ). The dots and curves reveal experimental and predicted values, respectively.

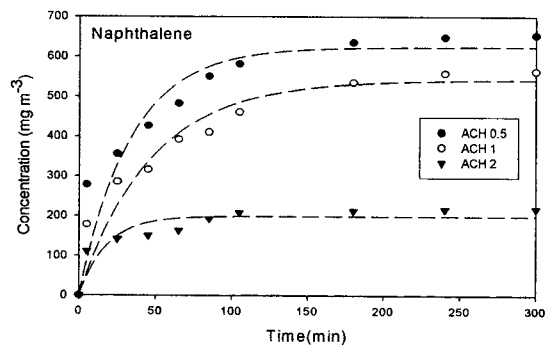


Fig. 4. Concentration-time profile of naphthalene under three ACH conditions(0.5, 1, and 2  $\text{h}^{-1}$ ). The dots and curves reveal experimental and predicted values, respectively.

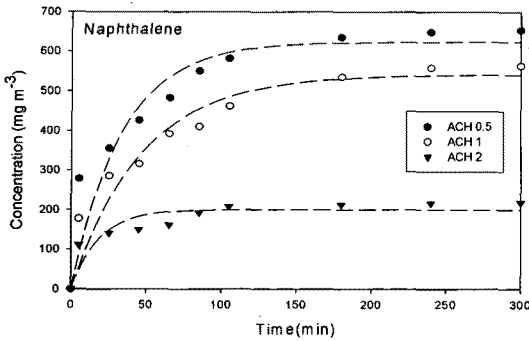


Fig. 5. Concentration-time-profile of toluene under three ACH conditions(0.5, 1, and 2 h<sup>-1</sup>). The dots and curves reveal experimental and predicted values, respectively.

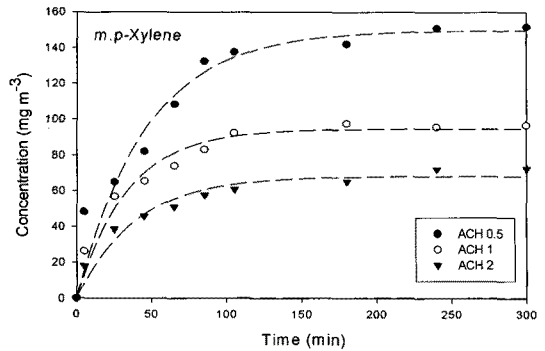


Fig. 6. Concentration-time profile of xylene under three ACH conditions(0.5, 1, and 2 h<sup>-1</sup>). The dots and curves reveal experimental and predicted values, respectively.

출이므로 C<sub>0</sub>는 “영(zero)”이다. 이어서, 산정된 배출 속도에 소모된 모기 퇴치제의 질량을 나누어서 배출 계수를 계산하였다. Table 3에 산정된 배출 속도와 배출 계수를 나타내었다. 배출 계수가 모기 퇴치제 종류에 따라 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 예를 들면, 매트 형(0.01 mg h<sup>-1</sup>)과 비교할 때 코일 형(0.565 mg h<sup>-1</sup>)이 벤젠의 배출 계수가 5배 이상 높은 것으로 산정되었다. 오염물질의 종류에 따라서도 배출 계수가 큰 차이를 나타내었다. 예를 들면,

조사된 모든 모기 퇴치제에 대하여 벤젠 배출 계수와 비교할 때(0.006-0.086 mg h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>) 에틸 벤젠 배출 계수(0.035-0.903 mg h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>)가 훨씬 높게 나타났다. 모기 퇴치제에서 방출되는 오염물질의 배출 계수에 대한 선행 연구를 찾을 수 없었기 때문에, 다른 가정용품에서 방출되는 오염물질의 배출 속도와 비교하였다. Colombo 등<sup>15)</sup>이 가정용 세제에서 총 휘발성 유기화합물질의 배출 속도가 34.9 mg h<sup>-1</sup>로 보고하여 본 연구 결과의 모기 퇴치제에서 방출되는 다섯

Table 3. Empirical-model parameters, emission rates, and emission factors for target compounds under the conditions of ACH = 1 h<sup>-1</sup>

Compound	Type	R <sup>2</sup>	A <sub>1</sub> , linear parameter (mg m <sup>-3</sup> )	A <sub>2</sub> , rate parameter (min <sup>-1</sup> )	Emission rate (mg h <sup>-1</sup> )	Emission factor (mg h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> )
Benzene	Liquid	0.96	0.5	0.040	0.025	0.008
	Mat	0.964	0.2	0.029	0.010	0.006
	Coil	0.98	11.3	0.0299	0.565	0.076
Ethyl benzene	Liquid	0.96	2.1	0.018	0.105	0.035
	Mat	0.93	1.4	0.012	0.070	0.043
	Coil	0.92	69.4	0.0148	3.47	0.469
Naphthalene	Liquid	0.92	54.1	0.022	2.71	0.903
	Mat	NA	NA	NA	NA	NA
	Coil	NA	NA	NA	NA	NA
Toluene	Liquid	0.88	5.7	0.034	0.285	0.095
	Mat	0.93	0.4	0.011	0.020	0.013
	Coil	0.99	7.9	0.0187	0.395	0.053
m.p-Xylene	Liquid	0.97	9.5	0.030	0.475	0.158
	Mat	0.95	4.9	0.010	0.245	0.153
	Coil	0.94	37.6	0.0175	1.88	0.254

Note. NA, not available.



개 오염물질의 배출 속도 범위 보다 훨씬 크게 나타났다. 모기퇴치제와 다른 가정용품과의 직접적인 비교가 합리적이지는 않지만, 앞으로 수행될 가정용품 배출 연구를 위한 참고 자료를 제공하기 위하여 본비교를 시도하였다.

### 3.3. 노출 평가

모기 퇴치제에서 방출되는 오염물질에 의해서 실내 거주자들의 노출과 이로 인한 건강 위해성을 평가하기 위하여 일차적으로 모기 퇴치제 사용에 따른 실내 농도를 실내 공기질 모델에서 유도된 상식식(4)를 이용하여 추산하였다. 선행연구에서 여러 차례 적용되고 체적이 17.4 m<sup>3</sup>인 일반 가정의 표준방(standard room)에서 모기 퇴치제를 사용하는 경우를 가정하여 실내 농도를 계산하였다<sup>33-35</sup>. 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 h<sup>-1</sup>로 가정하고<sup>35</sup>, 모기 퇴치제의 오염물질 배출 속도는 일정 하고, 일일 8 시간에 걸쳐 오염물질이 배출되는 것으로 가정하였다<sup>2</sup>. 표준 방에서의 초기 오염물질 농도는 선행 연구들(Chuang et al., 1999; Jo and Moon, 1999; Reisen and Arey, 2005) 배경 농

도를 이용하였는데, 이를 Table 4에 제시하였다.

이렇게 산정된 실내 농도와 다음의 관계식을 이용하여 모기 퇴치제 사용에 따른 오염물질 노출량을 계산하였다.

$$E_{in} = C_{air} \times I \times T / W \quad (5)$$

여기서, E<sub>in</sub>은 일일 흡기 노출량(mg kg<sup>-1</sup>), C<sub>air</sub>는 오염물질 평균 농도(mg m<sup>-3</sup>), I는 호흡률(m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup>), T는 노출 시간(day) 그리고 W는 성인 평균 체중(kg)이다. 이 방정식에 이용된 변수 중 하루 공기 흡입률은 20 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup> 그리고 인체 흡수율은 100% 이다<sup>36</sup>. 수면 동안 모기 퇴치제를 사용한다는 가정하에서 노출 시간은 가중치 8/24 day를 이용하였다. 성인 평균 체중은 70.9 kg으로 가정하였다<sup>36</sup>.

배경 농도와 더불어 추산된 실내 공기 농도를 Table 4에 나타내었다. 액체 형 및 매트 형 모기 퇴치제의 경우, 벤젠의 추산 농도와 배경 농도비가 각각 1.0 과 1.1, 에틸 벤젠은 1.4와 1.3, 톨루엔은 1.2와 1.0, 그리고 자일렌은 1.7과 1.4 로서, 이러한 종류의 모기 퇴치제 사용이 방향족 화합물의 실내 오염도에 거의 영향을 미치지 않거나 약간 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나, 코일 형 모기 퇴치제를 사용하는 경우, 모델 추산 농도와 배경 농도비가 1.2 (톨루엔)-15.2(에틸 벤젠) 범위로서, 코일 형 모기 퇴

**Table 4.** Background and estimated indoor concentrations and exposure levels according to mosquito repellent type

Compound	Type	Background conc.(mg m <sup>-3</sup> )	Estimated conc. (mg m <sup>-3</sup> )	Ratio	Exposure (mg d <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )
Benzene	Liquid	5.8	6.3	1.1	0.59
	Mat	5.8	6.0	1.0	0.56
	Coil	5.8	17.1	2.9	1.61
Ethyl benzene	Liquid	4.9	7.0	1.4	0.66
	Mat	4.9	6.3	1.3	0.59
	Coil	4.9	74.3	15.2	6.98
Naphthalene	Liquid	1.6	55.8	34.9	5.25
	Mat	1.6	NA	NA	NA
	Coil	1.6	NA	NA	NA
Toluene	Liquid	35	40.7	1.2	3.83
	Mat	35	35.4	1.0	3.33
	Coil	35	42.9	1.2	4.03
m.p-Xylene	Liquid	14	23.5	1.7	2.21
	Mat	14	18.9	1.4	1.78
	Coil	14	51.6	3.7	4.85

Note. NA, not available.

치제의 사용이 실내 공기질에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 한편, 나프탈렌의 경우, 액체형 모기 퇴치제를 사용하는 경우 실내 공기 농도를 배경 농도에 비해 35 배 정도 증대 시키는 것으로 나타나 액체형 모기 퇴치제를 사용하는 경우에 나프탈렌 노출에 유의해야 할 것이다.

모기 퇴치제 사용에 따른 흡기 노출량도 Table 4에 나타난다. 벤젠의 노출량은  $0.56\text{-}1.61 \text{ mg d}^{-1} \text{ kg}^{-1}$  으로서 벤젠의 발암잠재력인  $3.6 \times 10^{-2} \text{ mg d}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ (IARC, 2002)를 고려할 때 모기 퇴치제 사용 자체만으로는 벤젠 노출로 인한 건강 위해성이 미치는 영향은 크지 않지만 벤젠의 최대 노출량이 벤젠 발암 잠재력의 거의 50% 수준까지 이르는 것으로서 벤젠에 대한 실내의 주요 오염원이 될 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 코일형 모기 퇴치제 사용시 벤젠 노출량이 최대 값을 나타내므로 실내 공기 중 벤젠 노출을 줄이기 위해서는 코일형의 사용에 유의해야 할 것이다. 그러나, 에틸 벤젠, 톨루엔 및 자일렌의 노출량 범위는 각각  $0.66\text{-}6.98 \text{ mg d}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ,  $3.33\text{-}4.03 \text{ mg d}^{-1} \text{ kg}^{-1}$  그리고  $1.78\text{-}4.85 \text{ mg d}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ 로 흡기 노출로 인해 독성 영향이 일어나지 않을 가장 낮은 농도(LOAEL, Lowest Observed Adverse Effect Level) 또는 가장 낮은 독성 영향을 유발시키는 가장 낮은 농도(LOAEL, Lowest Observed Adverse Effect Level)인 각각  $434 \text{ mg m}^{-3}$ ,  $119 \text{ mg m}^{-3}$  및  $39 \text{ mg m}^{-3}$ 를 고려할 때(OEHHA, 2003), 비록 모기 퇴치제 사용이 이들 오염물질의 실내 농도를 증대시킬 수는 있지만, 인체 위해성에 대한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 나프탈렌의 경우에도 노출량이  $5.25 \text{ mg d}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ 로써 나프탈렌 LOAEL인  $100 \text{ mg d}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ 를 고려할 때, 방향족 화합물과 유사하게, 비록 모기 퇴치제가 나프탈렌의 실내 농도를 증대시킬 수는 있지만, 인체 위해성에 대한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구는 국내 시판 세 가지 종류(전기 매트, 증기-훈증형 및 코일형)의 모기 퇴치제에서 방출되는 유해 성분들의 특성을 정성적으로 평가하고 모기 퇴치제 사용과 관련한 유해 성분 노출에 대하여 평가하였다. 정성적인 배출특성 평가를 위해서 활용

된 헤드-스페이스법을 통하여 아세톤을 포함하여 42개 화합물질이 모기 퇴치제에서 배출되는 것으로 확인되었으며, 화합물질의 종류에 따라 검출 빈도 수가 다르게 나타났다. 나아가, 모기 퇴치제 종류 또는 오염물질의 종류에 따라서 챔버 농도, 배출 속도 및 배출계수가 다르다는 것이 확인되었다. 모기 퇴치제에 대한 챔버 농도 실험값과 모델식을 이용하여 계산된 예측값을 오염물질에 따라 비교한 결과, 대부분의 경우  $R^2$ 가 0.9에 가깝거나 0.9 보다 크게 나타나, 확립된 모델이 챔버 농도를 예측하는데 적절하게 사용될 수 있는 것으로 나타났다. 실내 공기 모델을 이용하여 모기 퇴치제 사용에 따른 실내 공기 농도와 실내 거주자들의 노출을 평가한 결과, 벤젠을 제외한 다른 조사 대상 오염물질들 모두가 조사한 모기 퇴치제 모두에서 방출은 되지만, 노출량과 발암 잠재력, NOAEL 또는 LOAEL을 비교한 결과 인체 위해성은 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나, 벤젠의 경우, 모기 퇴치제 사용 자체만으로는 벤젠 노출로 인한 건강 위해성이 미치는 영향은 크지 않지만 벤젠의 최대 노출량이 벤젠 발암 잠재력의 거의 50% 수준까지 이르는 것으로서 벤젠에 대한 실내의 주요 오염원이 될 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 코일형 모기 퇴치제 사용시 벤젠 노출량이 최대 값을 나타내므로 실내 공기 중 벤젠 노출을 줄이기 위해서는 코일형 모기 퇴치제의 사용에 유의해야 할 것이다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

- 1) 한국환경과학회, 2008, 밀러의 알기쉬운 환경과학, 11판, 시그마 프레스, 465pp.
- 2) Liu W., J. Zhang, J. H. Hashim, J. Jalaludin, Z. Hashim and B. D. Goldstein, 2003, Mosquito Coil Emissions and Health Implications, Environ. Health Persp., 111, 1454-1460.
- 3) Chang J. -Y. and J. -M. Lin, 1998, Aliphatic aldehydes and allethrin in mosquito-coil smoke, Chemosphere, 36, 617-624.
- 4) Lee S. C. and B. Wang, 2006, Characteristics of emis-

- sions of air pollutants from mosquito coils and candles burning in a large environmental chamber, *Atmos. Environ.*, 40, 2128-2138.
- 5) Ramesh A. and A. Vijayalakshmi, 2001, Monitoring of allethrin, deltamethrin, esbiothrin, prallethrin and transfluthrin in air during the use of household mosquito repellents, *J. Environ. Monit.*, 3, 191-193.
  - 6) IARC (International Agency for Research on Cancer), 2002, Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, vol. 82. IARC, Lyon, France, 367.
  - 7) OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), 2003, 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. Accessed at <http://www.oehha.ca.gov/prop65/pdf/june2003StatusReport.pdf>.
  - 8) Azizi B. H. O. and R. L. Henry, 1991, The effects of indoor environmental factors on respiratory illness in primary school in Kuala Lumpur, *Int. J. Epidemiol.*, 20, 144-149.
  - 9) Liu W. K. and S. E. Sun, 1988, Ultrastructural changes of tracheal epithelium and alveolar macrophages of rats exposed to mosquito coil smoke, *Toxicol. Letters*, 41, 145-157.
  - 10) Liu W. K. and M. H. Wong, 1987, Toxic effects of mosquito coil (A Mosquito Repellent) smoke on rats: II. Morphological changes of the respiratory system. *Toxicol. Letters*, 39, 231-239.
  - 11) Liu W. K., H. R. Ng and C. C. Wong, 1989, Biochemical and cellular changes in bronchoalveolar lavaged samples from rats after inhalation of mosquito-coil smoke. *Toxicol. Letters*, 45, 121-132.
  - 12) Cheng V., H. R. Lee and C. S. Chen, 1992, Morphological changes in the respiratory system of mice after inhalation of mosquito-coil smoke. *Toxicol. Letters*, 62, 163-177.
  - 13) Moorthy M. V. and P. B. Murthy, 1994, Analysis of sister chromatid exchange, micronucleus and chromosomal aberration frequencies in rodents exposed to mosquito-coil smoke by inhalation route, *Toxicol. Letters*, 70, 357-362.
  - 14) Das R. K., K. Sahu and B. C. Dash, 1994, Induction of chromosome aberrations and micronuclei in pulmonary alveolar macrophages of rats following inhalation of mosquito coil smoke, *Mut. Res.*, 320, 285-292.
  - 15) Colombo A., M. De Bortoli, H. Knoppel, H. Schauenburg and H. Vissers, 1991, Small chamber tests and headspace analysis of volatile organic compounds emitted from household products, *Indoor Air*, 1, 13-21.
  - 16) USEPA (United States Environmental protection Agency), 2003, Volatile organic Compounds in Various Sample Matrices Using Equilibrium Headspace Analysis, USEPA Method 5021A, Revision 1, June 2003.
  - 17) Katsoyiannis A., P. Leva and D. Kotzias, 2006, Determination of volatile organic compounds emitted from household products: the case of velvet carpets (Moquettes), *Fresen. Environ. Bull.*, 15, 943-949.
  - 18) Kemmlein S., O. Hahn and O. Jann, 2003, Emissions of organophosphate and brominated flame retardants from selected consumer products and building materials, *Atmos. Environ.*, 37, 5485-5493.
  - 19) Wilke O., O. Jann and D. Brodner, 2004, VOC- and SVOC- emissions from adhesives, floor coverings and complete floor structures, *Indoor Air*, 14, 98-107.
  - 20) Guo H., F. Murray and S. C. Lee, 2003, The development of volatile organic compound emission house-a case study, *Build. Environ.*, 38, 1413-1422.
  - 21) Li M., C. -L. Wu, A. -Q. Zhao and Y. Yang, 2008, State-space model for airborne particles in multizone indoor environments, *Atmos. Environ.* 42, 5340-5349.
  - 22) Lin C. -C., K. -P. Yu, P. Zhao and G. W. -M. Lee, 2009, Evaluation of impact factors on VOC emissions and concentrations from wooden flooring based on chamber tests, *Build. Environ.* 44, 525-533.
  - 23) Edwards R. D., C. Schweizer, M. Jantunen, H. K. Lai, L. Bayer-Oglesby, K. Katsouyanni, M. Nieuwenhuijsen, K. Saarela, R. Sram and N. Künzli, 2005, Personal exposures to VOCs in the upper end of the distribution-relationships to indoor, outdoor and workplace concentrations, *Atmos. Environ.*, 39, 2299-2307.
  - 24) Li A., T. M. Schoonover, Q. Zou, F. Norlock, L. M. Conroy, P. A. Scheff and R. A. Waddeen, 2005, Polycyclic aromatic hydrocarbons in residential air of ten Chicago area homes: Concentrations and influencing factors, *Atmos. Environ.*, 39, 3491-3501.
  - 25) Reisen F. and J. Arey, 2005, Atmospheric reactions influence seasonal PAH and nitro-PAH concentrations in the Los Angeles, *Environ. Sci. Technol.*, 39, 64-73.
  - 26) Zuraimi M. S., C. A. Roulet, K. W. Tham, S. C. Sekhar, K. W. David Cheong, N. H. Wong and K. H. Lee, 2006, A comparative study of VOCs in Singapore and European office buildings, *Build. Environ.*, 41, 316-329.
  - 27) ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2005, ToxFAQs for Naphthalene, 1-Methylnaphthalene, and 2-Methylnaphthalene. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Available online at <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts67.html>.
  - 28) Wallace L. A., E. Pellizzari, B. Leaderer, H. Zelon

- and L. Sheldon, 1987, Emissions of volatile organic compounds from building materials and household products, *Atmos. Environ.*, 21, 385-393.
- 29) Sack T. M., D. H. Steele, K. Hammerstrom and J. Remmers, 1992, A survey of household products for volatile organic compounds, *Atmos. Environ.*, 26, 1063-1070.
- 30) Knöppel H. and H. Schauenburg, 1989, Screening of household products for the emission of volatile organic compounds, *Environ. Int.*, 15, 413-418.
- 31) Zhu J., X. L. Cao and R. Beauchamp, 2001, Determination of 2-butoxy ethanol emissions from selected consumer products and its application in assessment of inhalation exposure associated with cleaning tasks, *Environ. Int.*, 27, 589-597.
- 32) Akland G. and D. A. Whitaker, 2000, Characterizing the sources of human exposure to Proposition 65 substances. RTI/6830/02-03 F, Research Triangle Institute, Research Triangle Park, NC.
- 33) Jensen B., P. Wolkoff, C. K. Wilkins and P. A. Clausen, 1995, Characterization of linoleum: Part 1. Measurement of volatile organic compounds by use of the field and laboratory emission cell "FLEC", *Indoor Air*, 5, 38-43.
- 34) Wolkoff P., 1998, Impact of air velocity, temperature, humidity, and air on long-term VOC emissions from building products, *Atmos. Environ.*, 32, 2659-2668.
- 35) Wolkoff P. and P. A. Nielsen, 1996, A new approach for indoor climate labelling of building materials-emission testing, modelling, and comfort evaluation, *Atmos. Environ.*, 30, 2679-2689.
- 36) EHD(Environmental Health Directorate), 1998, 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.