설비공학논문집 제 23 권 제 5 호(2011)/pp. 375-382

실내 준휘발성유기화합물 방출량 측정법에 대한 고찰

서 장 후†
조선대학교 건축학부

Consideration of Measurement Method for SVOCs Emission Rates

Janghoo Seo†
School of Architecture, Chosun University, Gwangju 507-759, Korea

(Received March 16, 2011; revision received April 26, 2011)

ABSTRACT: Semi volatile organic compounds (SVOCs) are used as plasticizers in building materials, interior materials, furniture, consumer electronics, etc. In the home, these SVOCs mix together with house dust. There is thus concern over the health effects of SVOCs in the home. there is a risk that they influence childhood asthma and allergies. It is difficult to measure SVOCs emission rates from building materials or household appliances utilizing the usual test chamber methods, because the boiling points of SVOCs are higher and they are apt to adhere to the surface of the test chamber used. In this study, we introduce FLEC chamber method, passive sampler method and micro chamber method, which are used in Germany and Japan in order to measure SVOCs emission rates. Characteristic, merits and demerits of test methods are also considered.

Key words: SVOCs(준휘발성유기화합물), Measurement Method(측정법), Emission Rates(방출량)

기 호 설 명

V	: 방출속도 [μg/m^{2}h]
T	: 시험온도(절대온도) [K]
$C1$	: 정수
$C2$	: 정수

1. 서 론

실내공기질 문제의 정확한 해명을 위해서는 건축자재 등에서 발생하는 오염물질(화학물질)의 방출 메커니즘을 파악하는 것이 중요하며, 이는 실내에서의 공기 중 오염물질 농도와 깊은 관계가 있다. 실내 오염물질의 농도는 건축자재 등에서 발생하는 오염물질의 방출량과 환기량 그리고 발생한 오염물질의 실내 고체표면에의 흡착에 의해 크게 좌우된다. 따라서 실내 오염물질의 농도를 정확히 예측하기 위해서는 상기의 항목들에 대한 특성을 규명해야 하며, 특히 건축자재 등에서 발생하는 오염물질 방출량을 정확히 평가하기 위한 측정법의 개발은 중요하다.

세계보건기구에서 가이드라인으로 정한 대표적인 실내공기 오염물질인 톨루엔 등의 휘발성유기화합물(VOCs)과 포름알데히드 등의 알데히드류는 국제표준화기구를 비롯한 각국에서 제안한 건축자재 등에서 발생하는 오염물질 방출량 측정법에 의해 정량적인 평가가 가능하다.

최근에는 VOCs보다 끓는점이 높은 준휘발성유기화합물(SVOCs : Semi volatile organic compounds)에 의한 실내공기 오염에 대한 우려가 높아지고 있다. SVOCs는 거주자가 사용하는 가구나 가전제품 뿐만 아니라, 재료의 난연성, 가소성을 위해

† Corresponding author
Tel.: +82-62-230-7022; fax: +82-62-230-7136
E-mail address: seo@chosun.ac.kr

Table 1 Classification of volatile organic compounds

	Range of boiling point[℃]		Compounds
Very volatile organic compounds	< 0	50~100	Formaldehyde, Acetaldehyde
Volatile organic compounds	50~100	240~260	Toluene, Xylene, Sylene, Ethylbenzene
Semi volatile organic compounds	240~260	280~400	Di (2-Ethylhexyl) phthalate, Dietyl phthalate, Tributyl phosphate
Particulate organic matter		380 <	Chlorpyrifos

바닥재, 벽지 등의 마감재에서 많이 발생하고, 대표적인 물질로는 프탈산에스테르(Phthalic acid ester)류나 인산에스테르(Phos phoric acid ester)류가 있다. SVOCs는 VOCs보다 끓는점이 낮고, 실내에서 비교적 저농도이지만, 실내공기질에 적지 않은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. SVOCs는 높은 끓는점으로 인해서 챔버 등 고체의 표면에 잘 부착되기 때문에 일반적인 챔버법을 이용한 방출량 측정이 어렵다. 또한 SVOCs는 가스 상태로 실내공기 중에 존재하며, 실내 먼지들에 부착이 되어 알레르기, 천식 등 거주자의 건강에 나쁜 영향을 미치는 오염물질로 보고되고 있다.[1] 따라서, 실내에서의 SVOCs 농도 및 방출량을 정확히 평가하는 등의 실태조사가 요구되고 있다.

현재, 독일 등의 유럽에서는 FLEC을 이용한 SVOCs 방출량 측정법[2]과 Passive Sampler법[3]이 많이 사용되고 있고, 일본에서는 마이크로 챔버법[4]과 Glass Plate를 이용한 Passive Sampler법이 건축물 실내외 SVOCs 측정법으로 많이 사용되고 있으나, 각 시험법의 장단점으로 인해서 표준적 방법이 제안되지 않고 있다.

본 연구에서는 SVOCs 방출량을 측정하기 위한 여러 가지 시험법을 소개하고, 각 시험법의 개요 설명과 함께 특징, 장단점을 고찰한다. 또한 향후 각 시험법의 일반적, 표준적 시험법으로서의 가능성을 검토한다.

2. 준휘발성유기화합물의 정의

세계보건기구[5]에 의한 유기성 화학물질의 끓는점에 따른 분류는 Table 1과 같다. SVOCs는 끓는점이 240~260℃에서 380~400℃ 범위의 유기화합물을 가리키고, WHO에서는 가스크로마토그래프로 평가를 하는 경우 n-tridecane(n-C13, 끓는점 234℃)과 *n-hexa cosene*(n-C26, 끓는점 399.8℃) 사이의 유기화합물을 SVOCs로 정의하고 있다. 한편, 다른 규격인 ITRS(International Technology Roadmap for Semiconductors)에서는 분자량 250 이상, 실리콘 웨버에의 부착 지수 1×10^{-3} 이상의 물질을 응축성 물질로 클린룸 공기에서 관리대상으로 정하고 있다. 또한 자동차 내장재에서의 유기물질 방출 측정법인 VDA(Verband der Automobil industrie) 278에서는 응축성 물질(Fog값)을 평가하는 범위로서, 정해진 가스크로마토그래프 조건에 의해 n-hexadecane(n-C16, 끓는점 226℃)에서 n-dotriacontane(n-C32, 끓는점 320℃, (2kPa))이 검출되는 범위를 응축성 물질로 정의하여 n-hexadecane 환산치로 평가하는 방법을 규정하고 있다.

SVOCs는 실온조건에서 증기압이 낮기 때문에 실내의 건축자재나 가전제품 등의 표면에 흡착되기 쉬운 특성을 가지고 있다. 건축자재 등의 난연성, 가소성을 위해 사용되는 SVOCs는 환경호르몬으로 생체 내의 내분비계에 유해성이 있기 때문에 충분히 주의가 필요하다고 보고되고 있다. 특히 텔레비전, 컴퓨터 등의 가전제품에서는 톨루엔 등의 VOCs와 함께, SVOCs로 분류되는 디에틸 프탈레이트(Diethyl phthalate)나 디부틸 프탈레이트(Dibutyl phthalate)가 방출되어 인체 내분비계에 나쁜 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

3. SVOCs 농도 및 방출량 측정방법

3.1 실내외 SVOCs 농도 측정 방법 조사

실내 및 실외 SVOCs 농도 측정에 대한 선행연구 조사결과는 Table 2와 같다.

Matsumura et al.[6]은 가소제나 난연제로 사용되고 있는 실내공기 중의 유기인(Organic phosphorus)화합물의 존재 형태를 규명하는 것을 목적으로

입자 상태와 가스 상태의 SVOCs를 분리 측정하였다. 포집제로써 석영 필터와 Empore Disk C18 필터를 사용하였고, 포집 후, 용매(아세톤)로 필터를 세척하여 유기인 화합물을 GC-FPD(Gas Chromatography-Flame Photo metric Detector)를 이용하여 분석하였다. 그 결과 Tributyl phosphate(TBP) 및 Tris(2-carboxyethyl) phosphine(TCEP)가 입자 상태 및 가스 상태로 존재하는 것으로 확인되었다.

Saito et al.[7]은 주택 및 오피스 건물에서의 Phthalate ester류에 의한 오염 실태를 조사하였다. 포집방법은 석영필터와 Empore Disk C18 필터를 이용하였고, 입자 상태 및 가스 상태로 분리하여 SVOCs를 측정하였다. 포집 후, 아세톤으로 1시간 초음파 추출 후 추출액을 GC/MS(Mass spectrometry)를 이용하여 분석하였다. 그 결과 Dimethyl phthalate (DMP), Diethyl phthalate(DEP), Diisobutyl phthalate(DIBP), Di-n-butyl phthalate(DBP), Benzyl butyl phthalate(BBP) 및 Di(2-Ethylhexyl) phthalate(DEHP) 등 6종류의 높은 빈도로 나타났으며, 그 중 DBP와 DEHP가 78.4~7,220 ng/m^3, DEHP가 10.8~2,380 ng/m^{3}로 타 물질에 비해 고농도로 확인되었다. 주택에 비해서 DEP, DIBP 및 DBP가 오피스 건물에서 상대적으로 높게 나타났다. 동경도(東京都) 위생국은 거주 및 평상시의 Phthalate ester류의 실태조사를 자치적으로 처음 실시하였고, 내분비계 착란작용을 유발할 가능성이 있다고 보고되는 화학물질인 DEHP, BBP, DBP, Dicyclohexyl phthalate(DCHP), DEP, Di-n-hexyl phthalate(DHP) 등 6물질이 검출되었다.

Kawahara et al.[8]은 농업 지역에서의 농약의 공중 살포에 기인한 유기인계 살충제의 실내 오염에 대한 실태를 조사하였다. 석영 필터 및 Chromosorb 102를 이용하여 실내공기를 포집하였고, 포집 후 아세톤을 용매로 추출하여 GC-FPD를 이용하여 분석하였다. 그 결과 Tri chlorfon, Dichlorvos, Fenitrothion, Chlor pyrifos, Malathion, Fenthion, Diazinon 이 검출되었다.

Hasegawa et al.[9]은 주택에서의 하우스 더스트 중의 SVOCs를 측정하였다. 진공청소기를 이용하여 채집한 하우스 더스트에는 Hexane, Dichloromethane, Methanol 등 3종류의 용매를 이용해서 여러 단계로 추출하였다. 그 결과, Phthalate ester류, Organophosphate류, 지방산류, Carbon산류, 탄화수소류, 알콜류, 플라스틱 첨가제 등 다수의 물질이 검출되었다.

Waseda 대학 Tanabe 연구실에서는 Glass plate나 실리콘 웨버를 실내에 방치하여 표면에 부착되는 SVOCs 양을 측정하는 방법을 사용하였다.[10,11] 포집방법은 포집 Plate를 수평으로 설치하고 일정 시간 방치하는 방법 이외에 냉각을 하는 방법과 Plate 표면의 기류를 제어하여 포집하는 방법을 병행하는 방법을 검토하였다. Plate에 부착된 SVOCs는 MSTD 258을 이용하여 가열, 탈착하고 GC/MS를 이용하여 분석하였다. 그 결과 Dodecamethyl cyclohexasiloxane(D6), Butylated hydro xyltoluene(BHT), Hexadecane, Eicosane, DEP, DBP, DEHP, Di2-Ethylhexyl) adipate(DOA) 등의 SVOCs가 검출되었다. 국내에서는 대기 오염의 관점에서 Polychlorinatd Biphenyls와 같은 독성 유발물질의 농도를 측정하였고, 산림에 의한 SVOCs의 흡수 가능성에 대해서 검토를 하였으나, 연구 사례가 부족한 실정이다.[12]

3.2 건축재료 등에서 발생하는 SVOCs 방출량 측정 방법 조사

독일 등의 유럽과 일본에서 SVOC 방출량 측정법에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.

Takeda et al.[13]은 재료에서 발생하는 VOCs의 방출속도와 시험온도와의 관계를 아레니우스(Arrhenius)의 식을 이용하여 나타냈으며, 시험온도(절대온도)의 역수와 방출속도의 대수는 직선관계가 성립한다고 보고하였다. Log V = C1/T+C2의 식이 성립. 그리고 가열가속 시험법에 의해 Polypropylene 표면에서 방출되는 DEHP의 80~120℃에서의 방출속도 실측치로부터 이 관계식을 이용해서 23℃의 DEHP의 방출속도를 구하였으며, 이 때의 DEHP 방출속도는 0.26 ug/m^{2}h로 확인되었다. 이 관계식이 유기화합물의 평형수증기압과 온도와의 관계를 나타내는 Clausius-Clapeyron식과 유사한 것을 착안하여 유기화합물의 수증기에서 C1 값을 산출하는 것이 가능하였다.

Motohashi et al.[14]은 가열가속 시험법에 의해 80℃에서의 염화비닐수지(PVC)계 건축재료에서 발생하는 DEHP 및 Diisononyl phthalate(DINP)의 방출속도를 계산하였으며, DEHP 및 DINP의 방출속도는 각각 1.4~2.3 ug/m^{2}h, 5.3 ug/m^{2}h로 나타났다.

A. Afshari et al.[15]은 CLIMPAQ 챔버를 이용해

Table 2 Previous research on measurement of SVOCs

Measurement target	Researcher	Sampler and analysis method	Measurement	Chemical compounds
Measurement for SVOCs emission rate of indoor and outdoor air	Matsumura et al.(1998)	Quartz filter and Empore Disk C18 filter, GC-FPD analysis	Measurement for indoor organic phosphorus compounds of particle and gas	Tributyl phosphate(TBP), Tris(2-carboxyethyl) phosphine(TCEP)
	Saito et al. (2002)	Quartz filter and Empore Disk C18 filter, GC/MS analysis	Measurement of phthalate ester in housing and office	Dimethyl phthalate(DMP), Diethyl phthalate(DEP), Diisobutyl phthalate(DIBP), Di-n-butyl phthalate(DBP), Benzyl butyl phthalate (BBP)
	Kawahara et al.(2004)	Quartz filter and Chromosorb 102, GC-FPD analysis	Measurement of organic phosphorus pesticide for agricultural area	Trichlorfon, Dichlorvos, Fenitrothion, Chlorpyrifos, Malathion, Fenthion, Diazinon
	Hasegawa et al.(2004)	Vacuum cleaner	Measurement of SVOCs for house dust	Phthalate ester, Organic ophosphate, Fatty acids, Carbon acids, Hydrocarbon, Alcohol, Plastic additions
	Tanbabe et al.(2005, 2006)	Glass plate and Silicon weber, MSTD 258 and GC/MS analysis	Measurement of SVOCs using sampling plate and cooling system	D6, Butylated hydroxyl toluene(BHT), Hexadecane, Eicosane, DEP, DBP, DEHP, Di(2-Ethylhexyl) adipate(DOA)
Measurement for emission rate of SVOCs released from building materials	Takeda et al.(2000)	Accelerating heater test method	Measurement of DEHP emission rates released from the surface of polypropylene using Arrehenius equation	DEHP, Diisononyl phthalate (DINP)
	A. Afshari et al.(2004)	Tenax-TA, TD-GC/MS, TD-GC/FID analysis	Measurement of phthalate ester emitted from PVC and flooring materials	DEHP, DBP
	E. Uhde et al.(2001)	Fogging Plate, CIS-GC/MS analysis	Measurement of phthalate ester emitted from wall paper using test chamber method and fogging method	Di-pentyl phthalate(DPP), DEHP, DPP
	Tanabe et al.(2005, 2006)	Glass Plate, MSTD 258 and GC/MS analysis	Measurement for adhesion amount of SVOCs emitted from wall paper and flooring paper	DBP, DEHP
	Fujii et al. (2003)	Passive sampler	Measurement of phthalate ester emitted from vinyl chloride wall paper and flooring paper	DBP, DEHP
	Kato et al. (2008)	Tenax-TA, GC/MS analysis	Measurement of SVOCs emitted flooring materials, furniture and home appliance using micro chmaber method	DEHP, DBP, DEP

서 PVC 제품(벽지, 바닥재, 전선, 전기케이블) 및 Polyolefin계 바닥재에서 발생하는 Phthalate ester류를 측정하였다. 온도 22.0~22.5℃, 상대습도 35~55%, 환기회수 0.2회/h의 조건으로 방출량 측정 실험을 하였다. 시험 개시 후 6, 35, 62, 105 및 150일 후에 챔버 배기구 공기를 Tenax-TA 포집관으로 24시간, 288L 포집하였고, TD-GC/MS, TD-GC/FID로 분석하였다. 그 결과 DEHP 농도는 150일 후 최대가 되었고, 왁스가 포함된 Polyolefin계 바닥재에서는 DBP가 최대로 검출되었다.

독일의 WilhelmKlauditz Institute(WKI)[3]에서는 SVOCs 방출량 측정방법으로서 Fogging 시험에 의한 Glass 표면으로의 유기물 부착을 이용한 Fogging 법을 제안하고 있다(VDA 278, 2001). 챔버 내에 시험체와 함께 Fogging 장치를 설치하고 챔버 내의 분위기 보다 낮은 온도로 냉각한 Glass Plate에 유기물질을 부착시켜 포집 후, 용매 추출-GC/MS를 이용하여 분석하였다. 또한 독일 자동차공업회의 규격인 VDA 276-1에서도 Fogging법이 채용되어 있다. 100℃로 가열한 1-m^3 테스트 챔버 내에 21℃로 냉각한 Plate를 설치하고 고비점 화물질인 응결성 물질을 부착시켜 측정하는 방법으로 그 개요는 Fig. 1과 같다.

E. Uhde et al.[16]은 14종류의 염화비닐수지계 벽지에서 방출되는 Phthalate ester류를 챔버법 및 Fig. 2의 Fogging법을 이용하여 측정한 결과를 보고하였다. 1-m^3의 Glass 챔버를 이용해서 온도 23℃, 상대습도 45%, 환기회수 1회/h, Loading factor 1 m^2/m^3의 조건으로 오염물질 방출실험을 하였다. Fogging법은 챔버 내에 15 cm×15 cm의 스테인레스를 설치하고, 챔버 내부 온도를 15℃로 보존한 채 Fogging Plate에 Phthalate ester류를 부착시켜, 시험 기간 14일 간의 챔버 내 공기 농도와 Fogging Plate에의 부착량을 측정하였다. 공기 중 농도는 Tenax-TA 포집관으로 10L 포집한 후, GC-MS-TDS를 이용하여 분석하였고, 부착량은 아세톤으로 추출한 후 CIS-GC/MS로 분석하였다. 그 결과, 공기 중 농도는 최대 DBP가 5.1 ug/m^3, Di-pentyl phthalate(DPP)가 2.08 ug/m^3, DEHP가 0.94 ug/m^3로 나타났다. 한편 부착량은 설치 14일 후에 최대가 되었으며, DEHP가 60.4 ug, DPP가 17.7 ug으로 나타났다.

와세다 대학 Tanabe 연구실에서는 원형 Glass Plate(ϕ 80 mm)를 시험체와 함께 챔버 내에 설치하고 Plate에 부착되는 SVOCs의 양(μg/m^2 · day)

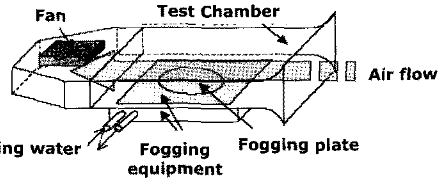

Fig. 1 Outline of fogging method.

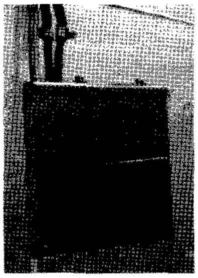

Fig. 2 Cooled fogging plate for sampling SVOCs.[16]

으로부터 챔버 내의 농도를 산출하고 있다.[10,11,17] 실험 방법은 염화비닐수지계 벽지와 염화비닐제의 바닥지를 시험체로 하고, 20L 소형챔버 ADPAC 및 1-m^3 챔버를 이용해서 SVOC 부착량을 측정하였다. 공통의 측정조건은 Loading factor 2.2 m^2/m^3, 환기회수 0.5회/h, 상대습도 50±4%, 온도 28±1℃이다. 20 L 소형챔버 ADPAC의 경우, 온도 40±1℃에서의 측정도 실시하였으며, 1-m^3 챔버의 경우, 물질전달율 제어 유닛을 사용한 제어조건과 사용하지 않는 자연노출 조건으로 실험을 수행하였다. Glass Plate에 부착된 SVOCs는 MSTD 258을 이용해서 가열탈착하고, GC/MS로 분석하였다. 그 결과 온도조건의 변화에 따라 DBP, DEHP의 부착량은 달라졌으며 SVOCs 부착량의 온도 의존성이 확인되었다. 자연노출 조건에 비해서 물질전달율을 제어하는 조건에서는 특히 DEHP의 부착량에 대한 결과 신뢰도가 높아지는 것으로 확인되었다. 또한 SVOCs 중에서도 비교적 끓는점이 낮은 물질의 경우, 공기 포집에 의해 측정된 공기 중 농도가 부착량보다 높게 나타나, 측정 대상 성분에 따라서 공기 중 농도 측정과 부착량 측정법을 병행하는 것이 바람직한 것으로 확인되었다.

Fujii et al.[18]은 Fig. 3와 같이 패시브샘플러를 이용하여 재료에서 발생하는 Phthalate ester류를 측정하였다. 염화비닐 가죽, 벽지, 바닥재 등 3종류의 내장재에 패시브 샘플러를 2개씩(측정 대상과

흡착재와의 거리가 0.5 mm와 2 mm) 설치하고, 0.5 mm와 2 mm의 Flux 비율에서 측정대상과 샘플러 사이의 분자확산이 샘플링 비율에 미치는 영향을 검토하였다.

Kato et al.[4]은 Fig. 4, Fig. 5와 같이 석영 재질의 마이크로챔버를 개발하여 바닥재, 가전제품, 가구 등에서 발생하는 SVOCs 방출량을 측정하였다. Tenax-TA를 이용한 공기 샘플링을 하여, GC-MS를 이용하여 분석하였으며, 실험샘플 표면의 물질전달율, 환기량, 온도, 상대습도가 SVOCs 방출량에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 챔버의 회수율 등을 검토하여 실험의 신뢰성을 확보하는 등 표준적 시험법으로서의 사용 가능성이 높은 것으로 판단된다.[19]

4. 결 론

본 연구에서는 독일, 일본 등에서 사용되고 있는 SVOCs 방출량 시험법을 소개하였고, 각 시험법의 개요 설명, 특징, 장단점을 고찰하였다. 이상의 결과를 바탕으로 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) SVOCs는 바닥재, 벽지, 가구 및 가전제품 등의 난연제, 가소제에 많이 사용되고 있으며, 대표적인 물질로는 프탈산에스테르(Phthalic acid ester)류나 인산에스테르(Phosphoric acid ester)류가 있다. SVOCs는 높은 끓는점과 챔버에의 표면 부착력으로 인해서 일반적인 챔버법을 이용한 방출량 측정이 어려우며, SVOCs는 가스 상태로 실내공기 중에 존재하며, 실내 먼지들에 부착이 되어 알레르기, 천식 등 거주자의 건강에 나쁜 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서, 실내에서의 SVOCs 농도 및 방출량을 정확히 평가하는 등의 실태조사가 요구된다.

(2) 독일과 일본에서 SVOCs 방출량 및 농도 측정을 위해서 Glass plate나 Fogging palte 등의 Passive sampler 방법이 널리 사용되고 있으나, 오염물질 방출원(Emission source)에서의 정확한 방출량의 특정이 어려운 점이 있고, 아세톤 등의 용매 추출법을 병행하기 때문에 분석 방법의 번거로움과 저농도의 오염물질에 대한 정확한 평가가 쉽지 않은 것으로 판단된다.

(3) 일본에서 개발된 SVOCs 방출량 측정법인 마이크로 챔버법의 경우, 실험샘플의 물질전달율 제어가 가능하고, SVOCs 방출량의 온도, 상대습도 의존성이 검토되었기 때문에, 표준적 시험법으로서

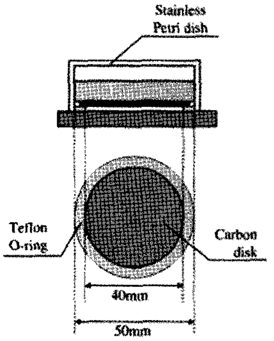

Fig. 3 Outline of passive sampler.[17]

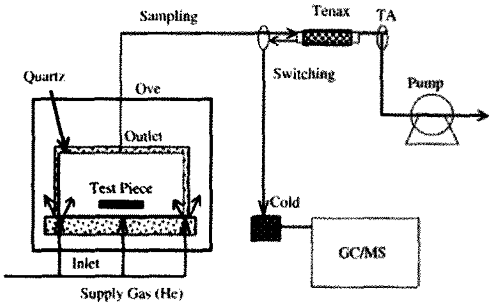

Fig. 4 Micro chamber system for measuring SVOCs.[4]

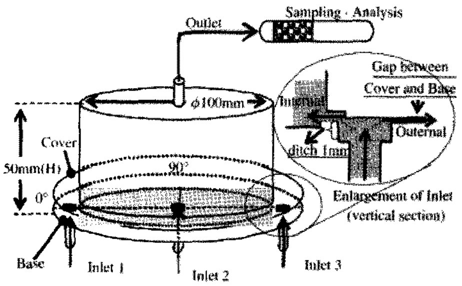

Fig. 5 Detailed micro chamber.[4]

의 사용 가능성이 높다고 판단된다. 그러나 현재의 마이크로 챔버법에서는 챔버 내부의 최적 환기량이 0.5회/h를 훨씬 상회하기 때문에 향후 검토가 요구된다.

후 기

본 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제

번호 2011-0005525). 본 논문은 2011년 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단)로부터 지원받아 수행된 연구임. 본 논문의 일부는 2009년도 대한설비공학회 하계학술발표대회에서 발표되었음.

참고문헌

1. Bornehag, C. G., Sundell J., Weschler C. J., Sigsgaard T., Lundgren B., Hasselgren M., and Hägerhed-Engman L., 2004, The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust; a nested case control study. Environmental Healthy Perspectives, Vol. 112, No. 14, pp. 1393-1397.
2. Clausen, P. A., Hansen V., Gunnarsen L., Afshari A., and Wolkoff P., 2004, Emission of di-2-ethylhexyl phthalate from PVC flooring into air and uptake in dust : emission and sorption experiments in FLEC and CLIMPAQ, Environ. Sci. Technol., Vol. 38, No. 9, pp. 2531-2537.
3. VDA278, 2001, Thermal desorption analysis of organic emissions for the characterization of non-metallic motor, vehicle materials, Automotive Industry Association.
4. Katsumata H., Murakami S., Kato S., Hoshino K., and Ataka Y., 2008, Measurement of semi-volatile organic compounds emitted from various types of indoor materials by thermal desorption test chamber method, Building and Environment, Vol. 43, No. 3, pp. 378-383.
5. WHO, 1989, Indoor Air Quality : Organic pollutants. Euro Reports and Studies Vol. 111. Copenhagen, World Health Organization Office for Europe.
6. Matsumura, T., Hamada M., Ito K., Ando M., and Isozaki A., 1998, Determination method for organophosphorus compounds in indoor air and its application to practical measurement, Journal of Society of Indoor Environment Japan, Vol. 1, No. 1, pp. 11-17.
7. Saito, I., Onuki A. and Scto H., 2002, Determination of phthalates in indoor air, Journal of Society of Indoor Environment Japan, Vol. 5, No. 1, pp. 13-22.
8. Kawahara, J., Yamaguchi T. and Kumagai K., 2004, Assessment of organophosphorus pesticide in house dust in agricultural community, Journal of RIEMAM, Vol. 52, pp. 86-87.
9. Hasegawa, A., Murakami M. and Fujimoto H., 2004, Determination of semi-volatile and non-volatile organic compounds adsorbed onto house dust, Journal of RIEMAM, Vol. 52, pp. 96-97.
10. Shibue, T., Aoki T., Kihara I., Nakagawa T., Tanaka H., Funaki R., and Tanabe S., 2005, Measurement of Semivolatile organic compounds(SVOCs) : Part 1 Development of measurement method and outline, Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, D-2, pp. 907-908.
11. Tsunemoto, S. Kameo, K., Aoki, T., Tani, H., Taguchi, H., and Tanabe, S., 2006, Measurement of semi volatile organic compounds (SVOC) : Part 4 Examination of measurement and analysis method for SVOC adhesion amount and NVR amount, Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, D-2, pp. 935-936.
12. Choi, S., Baek S. and Chang, Y., 2007, Uptake of semi-volatile organic compounds by forests, J. of the Korean Society for Environment Analysis, Vol. 10, No. 2, pp. 91-97.
13. Takeda, K., Nonaka, T., Matsumoto, I., Mochitsuki, A., Otsuka, Y., and Fujimoto, T., 2000, Evaluation method for emission rates of chemical compounds released from materials and resin of clean room, Proceedings of japan air cleaning association and contamination control, pp. 30-33.
14. Motohashi, K. and Imano, M., 2003, Quantitative analysis of phthalic esters emitted from polyvinyl chloride resin based building materials, Journal of architecture, planning and environmental engineering. Transactions of AIJ, 573, pp. 15-20.

15. Afshari, A., Gunnarsen, L., Clausen, P. A. and Hansen, V., 2004, Emission of phthalates from PVC and other materials, Indoor Air 2004, Vol. 14, pp. 120-128.
16. Uhde, E., Bednarek, M., Fuhrmann, F. and Salthammer, T., 2001, Phthalic esters in the indoor environment-test chamber studies on PVC-coated wall coverings, Indoor Air 2001, Vol. 11, pp. 150-155.
17. Aoki, T., Kihara I. and Tanabe S., 2005, Measurement of semi volatile organic compounds(SVOC) : Part 3 Common test sample experiments by absorbent amount method, Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, D-2, pp. 877-878.
18. Fujii, M., Shinohara, N., Lim, A., Otake, T., Kumagai, K., and Yanagisawa, Y., 2003, A study on emission of phthalate esters from plastic materials using a passive flux sampler, Atmospheric Environment, Vol. 37, pp. 5495-5504.
19. Seo, J., Kato, S. and Lim, M., 2009, Measurement of semi-volatile organic compounds from flooring material and evaluation on air-flow characteristics in a Test Chamber, Proceedings of the SAREK 2009 summer annual conference, pp. 762-767.