

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 26, No. 3, 2006

소형 챔버법에 의한 건축자재의 휘발성유기화합물 방출량 측정 및 CFD해석

김윤덕*

*연세대학교 건축공학과(kimyd@yonsei.ac.kr)

Validating of small chamber method by CFD simulation and VOCs emission rate of construction materials.

Kim, Yun-Deok*

*Dept. of Architecture, Graduate School, YONSEI University(kimyd@yonsei.ac.kr)

Abstract

This study focused on the emission rate of the construction materials. The method of study is as follows. First, validation of small chamber method to determine emission rate of construction material was performed by CFD simulation. For the result of this study, uniform air velocity in small chamber was founded, and small chamber as a test material for emission rate was validated. Second, the construction materials were categorized by their feature and the emission rate of volatile organic compound was determined. Totally, VOCs emission rate of 49 materials were determined.

Keywords : 휘발성유기화합물(VOCs), 포름알데히드(HCHO), 소형챔버(Small Chamber), 전산유체해석(CFD)

1. 서 론

포름알데히드나 휘발성 유기화합물 (Volatile Organic Compounds 이하 VOCs)로 대표되는 화학물질에 의한 실내 공기 오염이 최근 문제가 되어 현재 국내에서도 몇종의 화학물질에 대해 허

용 농도 가이드라인 작성이 이루어졌다. 인간 건강에의 영향 및 쾌적성에 영향을 생각하여 만들어지는 가이드 라인은 개개 화학물질의 허용 농도 혹은 TVOC(Total Volatile Organic Compounds. 총휘발성유기화합물)농도의 형태로 나타내지는 것이 많다. 그러나, 설계 초기단계에 있어서 건

접수일자:2006년 8월 17일, 심사완료일자:2006년 9월 22일

축자재의 선정이라고 하는 시점을 고려해볼 때, 각 건축자재로부터 발생하는 실내오염 화학물질의 발생량의 데이터는 중요하다.

각 건축자재로부터의 실내오염 화학물질 발생량이 측정되어 카탈로그화 되면, 설계 단계에 있어서 자재선정의 지침이 되어 유용하기 때문이다. 국내의 “다중이용시설등의 실내공기질관리법” 및 일본 JIS 1901A, ASTM(American Society for Testing and Materials)의 기준 D5116 [소형챔버에 의한 실내의 건축자재로부터 나오는 유기 화합물 발생량 측정에 관한 가이드]에서는, 챔버의 조건, 샘플 건축자재의 설치법, 샘플공기의 채취방법, 농도 분석수법, 발생량 산정법등이 나타나, 이것을 참고하여 VOCs 발생량측정을 실시하고 있는 연구자·연구기관은 많다.

그러나 건축마감자재의 VOCs물질 방출테스트는 1회 측정에도 상당한 비용과 장비의 문제로 활발한 연구와 데이터 측정이 이루어지기 어려운 실정이며 또한 대부분 방출테스트를 실시하는 업체가 건축자재 회사인 관계로 측정 관련 데이터의 교류 또한 원활하지 못한 실정이다.

이에 본 논문의 목적인 건축마감자재에서 방출되는 실내오염물질의 방출수준 현황파악을 위하여 실내공기질공정시험방법을 이용하여 실내에 주로 사용되는 다수의 주요 마감재에서 방출되는 VOCs 물질의 발생량 테스트를 실시하였다. 그리고, 실내공기질공정시험방법의 주된 실험 기구인 소형챔버의 내부 기류의 흐름 및 농도의 균일성등을 STAR CD 3.15를 이용하여 CFD 해석하여 보았다

2. 실내공기질 공정시험법

소형챔버법은 20L의 소형챔버를 사용하여 청정공기를 공급하여 건축자재로부터 방출되는 오염물질을 측정하는 챔버로 일본의 실내공기질 공정시험법에도 언급되어 있는 공정시험 방법이다.

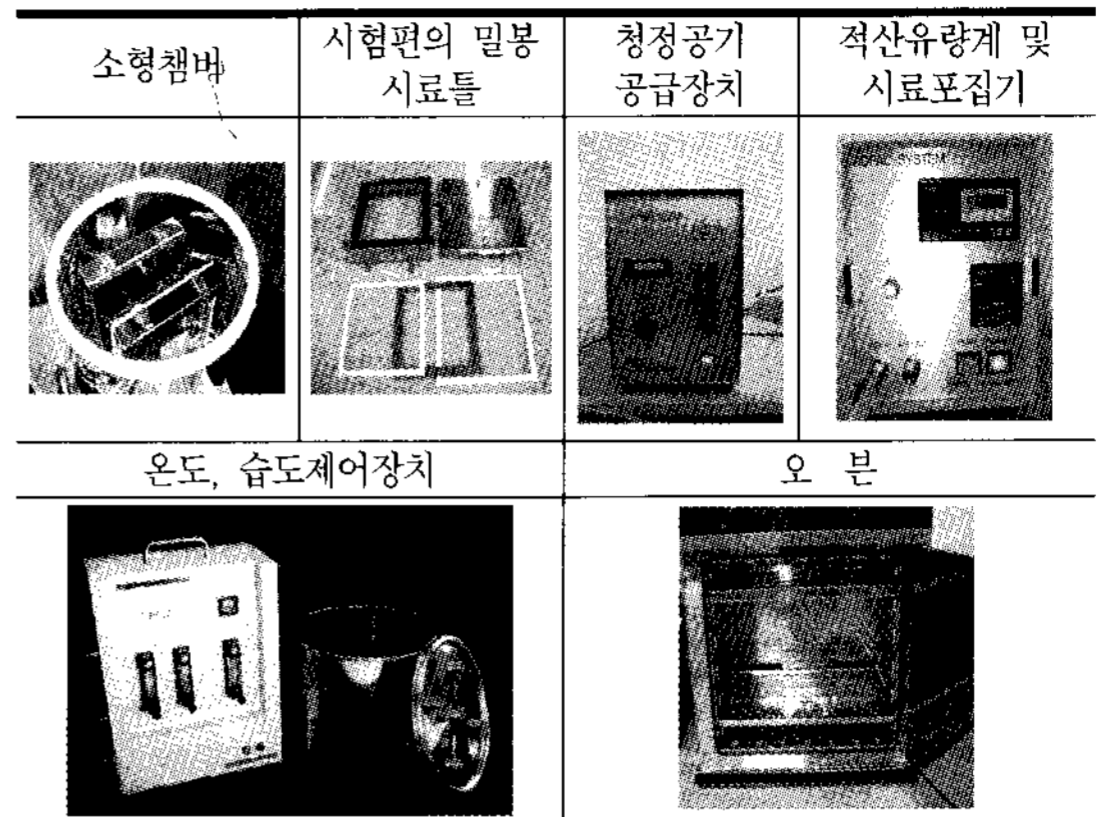


그림 1. 소형챔버법의 구성

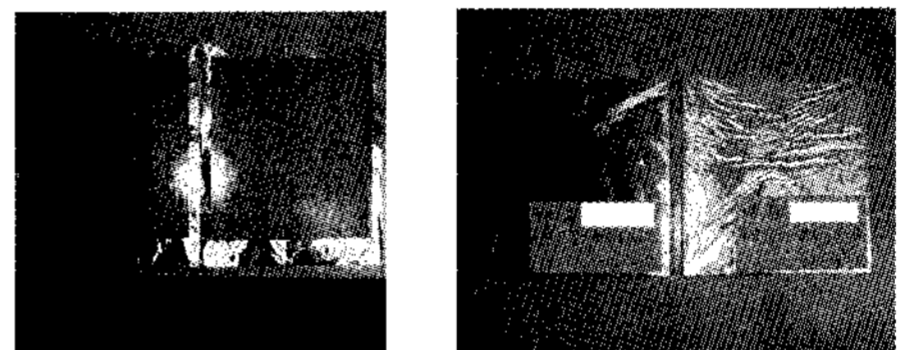


그림 2. 시료의 알루미늄박 seal 과정(앞면과 뒷면)

건축재료에서 발산되는 VOCs, 포름알데히드 및 다른 카르보닐화합물의 발산속도를 측정할 때 필요한 주요 도구는 그림 1과 같다. 소형챔버의 내부에 건축자재설치용 밀봉용 시료박스가 2개 새로로 세워져 있으며, 밀봉용 시료박스 본체는 스테인리스 재로 시험편과 본체와의 사이에 테프론틀을 넣고 밀봉하며, 시험편뒤에서 발생될지 모르는 오염물질을 차단하기위하여 뒤로부터 나사로 고정시킨다. 그림 2는 시료를 알루미늄박으로 밀봉한 후 밀봉용 시료박스에 넣기전의 그림이다. 오븐은 1회의 건축자재실험이 끝난후 소형챔버내 표면에 부착되어 있을지 모르는 VOCs, 포름알데히드 및 다른 카르보닐화합물을 가열휘발시켜 소형챔버를 청청하게 만들기 위하여 사용한다.

2.1 공정시험법의 시험 및 분석조건

온도, 상대습도는 건축자재로부터 발산되는 VOCs의 발산속도에 큰 영향을 미치므로 소형챔버는 다음의 조건범위 내에서 제어 가능한 것으로 한

다. 환기회수와 챔버용적으로부터 환기 및 샘플링시의 유량은 표 2에 준한다. VOCs포집에는 Tenax-TA흡착관등을, 포름알데히드 및 다른 카르보닐화합물의 포집에는 DNPH카트리지를 사용한다. 측정 및 분석방법은 “다중이용시설 등의 실내공기질관리법”에서 규정하고 있는 실내공기질 공정시험방법중 소형챔버법에 준하여 분석하였다.

표 1. 시험조건

챔버용적	20L
시료부하율	2.0m ² /m ³
온도	25±1℃
상대습도	50±4%
환기회수	0.5회/h

표 2. 소형챔버 공기시료 채취조건

	포름알데히드 및 알데히드류	VOCs
포집관	DNPH 카트리지	Tenax-TA(60/80mesh)200mg충진(ATD/TCT튜브)
유량	0.167 L/min	0.167 L/min
흡인량	10 L	3.2 L



그림 3. 공기시료 포집 그림

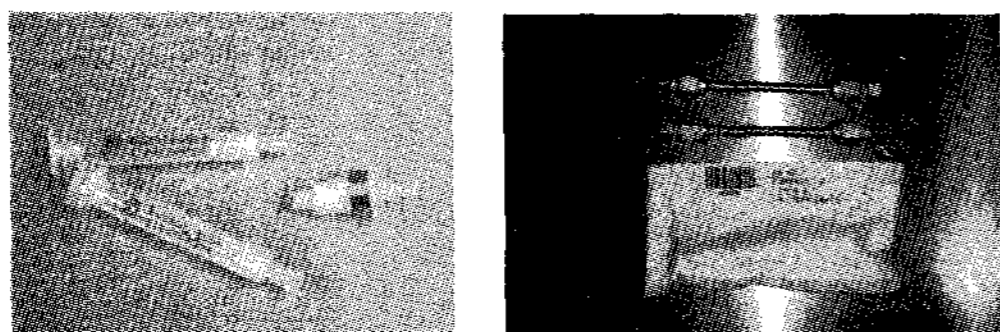


그림 4. DNPH카트리지 & Tenax-TA흡착관



(a) 질량분석계 부착 가스크로마토그래프(GC/MS) (b) 고속액체 크로마토그래프(HPLC)

그림 5. GC/MS와 HPLC

표 3. 열탈착 장비 및 GC/MS의 분석조건

구분		사항	
열탈착장치(ATD)	제조사		Perkinelmer Turbo Matrix 400
	Temp	Valve	190℃
		Desorption	290℃
		Cold Trap	-30℃(Low), 300℃(High)
		Transfer-Line	220℃
	Time	Purge	1 min
		Desorption	15 min
		Trap-Hold	10 min
	Mode	Split Ratio	10
		Desorption Flow	30 ml/min
	Outlet Split	9 ml/min	
GC/MS	제조사		Varian CP 3800/Saturn 2200
	GC	Temp. program	35℃(5min)→6℃/min→250℃(20min)
		Column	HP-VOC (0.32mm×1.8μm×60m)
		Column flow	He(99.999%), 1 ml/min
		Detector	MS
	MS	Mode	El(electron ion)
		Electron energy	70ev
Detection mode		TIC(Scan)	

휘발성유기화합물은 일정량의 흡착제(Tenax)를 충전한 흡착관에 시료를 채취하여 고체 열탈착 장치에 의해 1차 고온탈착(290℃)시키고, 다시 저온 농축관에서 농축(-30℃)시킨후, GC내의 캐필러리 컬럼에 도입하여 기체크로마토그래피 원리에 의해 대상 성분들을 분리한다. 그림 5와 표 3은 휘발성 유기화합물의 분석을 위해 실시한 열탈착 장치 및 GC/MS의 사진 및 분석조건을 나타낸다.

휘발성유기화합물의 검량선 작성을 위해서 각 성분별 100ppb의 농도를 가진 TO-14 표준기체를 사용하였다.

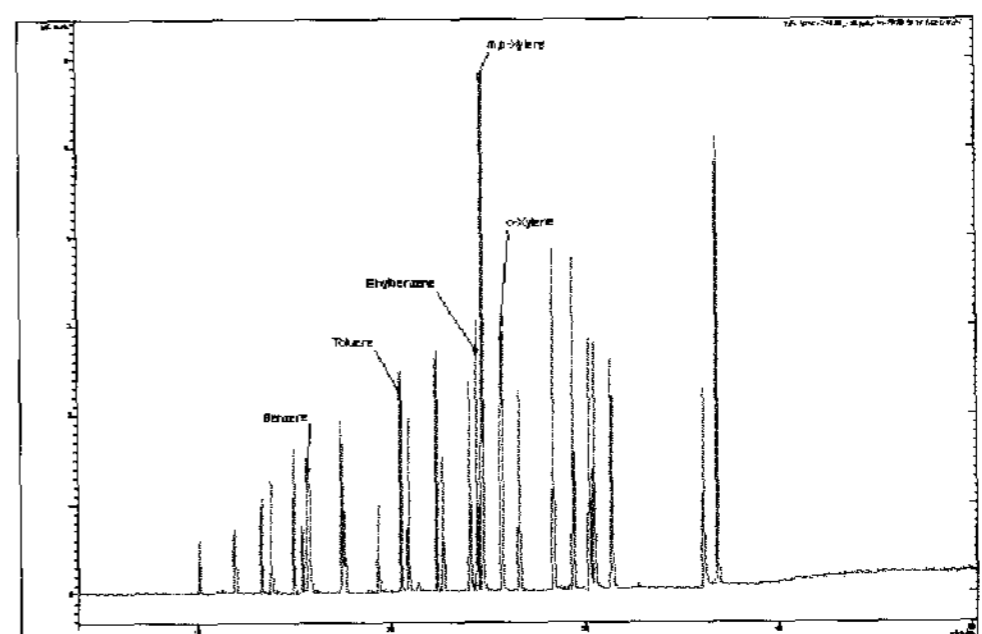


그림 6. TO-14 표준가스의 휘발성유기화합물 크로마토그램

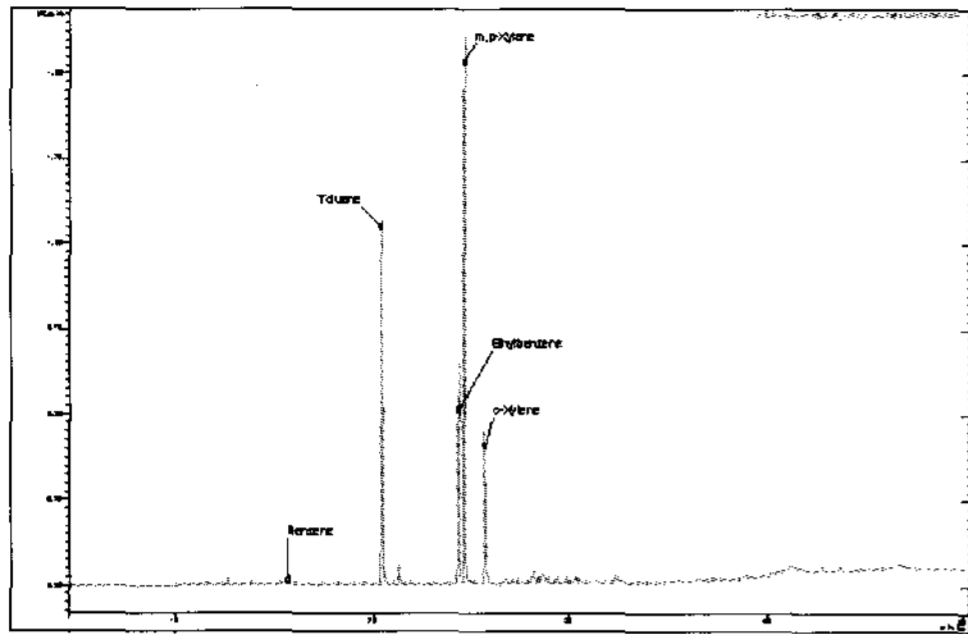


그림 7. 실제시료의 휘발성유기화합물 크로마토그램 예

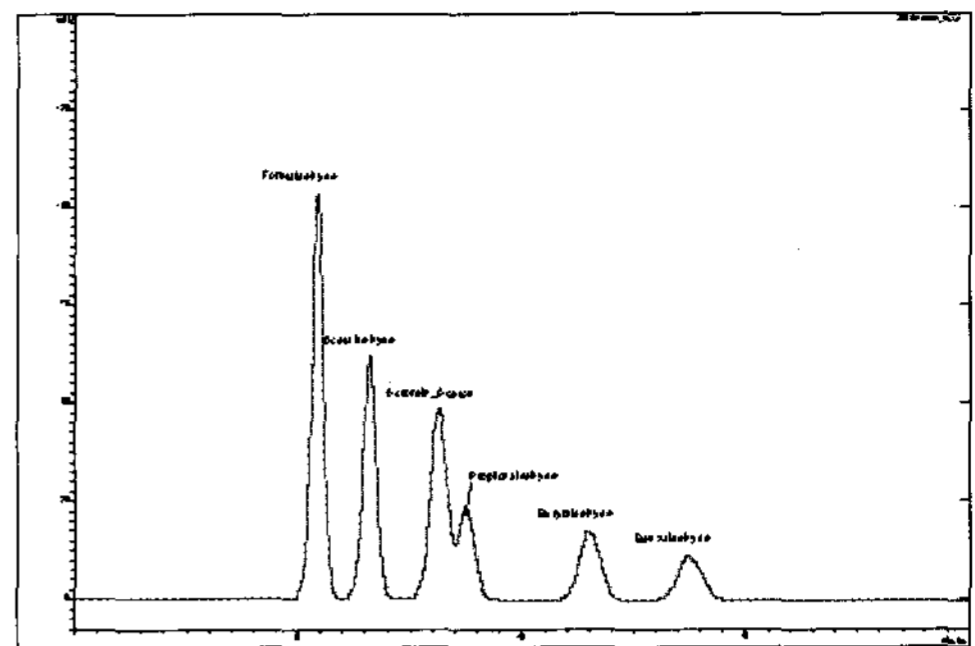


그림 9. 표준용액 시료중의 알데히드류 크로마토그램

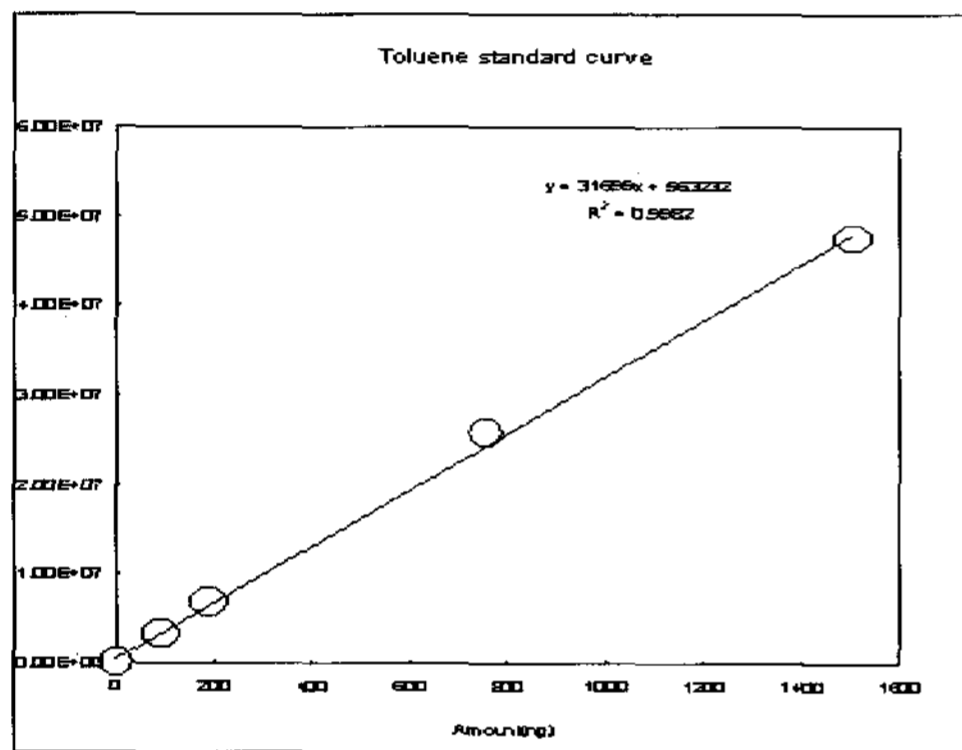


그림 8. 톨루엔의 검량선 예

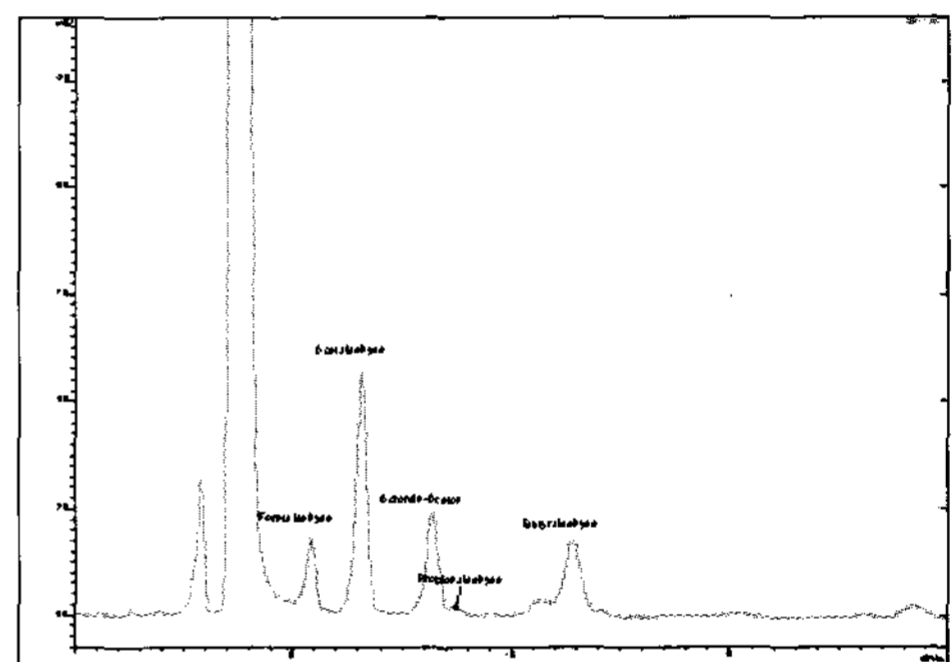


그림 10. 실제 채취 시료중의 알데히드류 크로마토그램 예

작성방법은 표준가스를 일정유량으로 흘린 상태에서, 흡착관을 이용하여 시간을 달리하면서 채취를 실시함으로써 각 흡착관에 채취되는 각 성분의 절대량 대비 면적을 기준으로 검량선을 작성하였다. 그림 6, 7, 8은 검량선 작성에 이용된 휘발성유기화합물 성분들의 크로마토그램과 실제 시료의 크로마토그램 및 톨루엔의 검량선을 나타낸 것으로 분석시 수시로 작성하여 적용하였다.

표 4. HPLC 분석조건

구분	사양	
HPLC	제조사	Varian 9050/Varian 9012Q
	Detector	UV/vis 360nm
	Column	Nova-pak C18(3.9×300mm)
	Mobile Phase	ACN/Water(60/40 v/v)
	Analysis Time	20min
	Injection Volume	20 μ l
	Column Temperature	25 $^{\circ}$ C
	Flow Rate	1.0ml/min

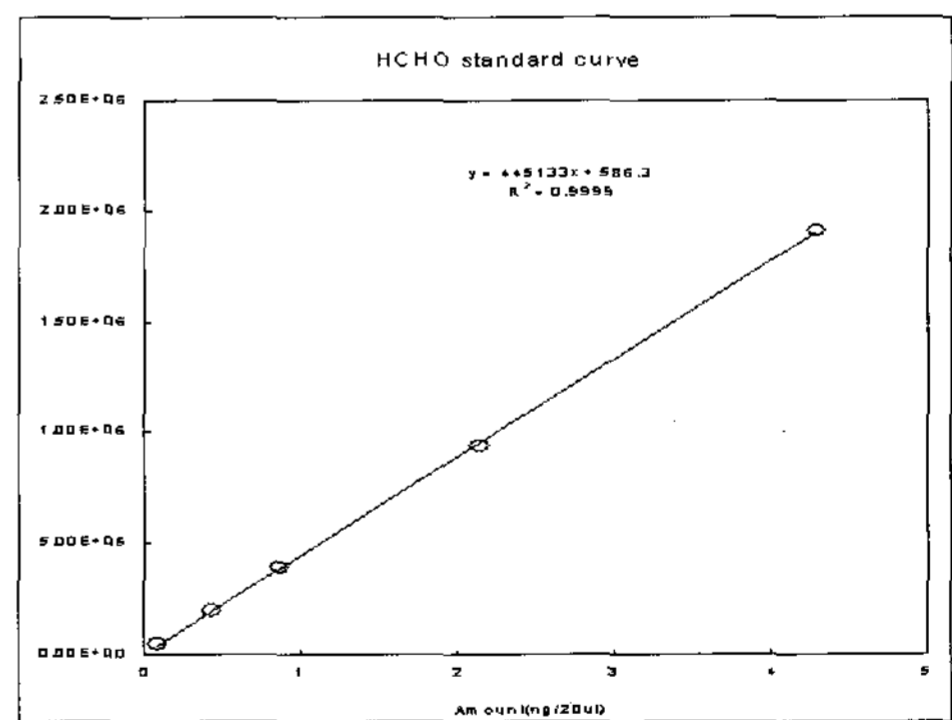


그림 11. 포름알데히드의 검량선 예

알데히드류의 분석시 시료가스의 일정량을 채취하여 시료중의 알데히드류를 2, 4-dinitrophenylhydrazine (2,4-DNPH 시약)으로 유도체화한 후 이 2,4-DNPH 유도체를 고속액체크로마토그래프(HPLC)에 도입하여 자외선흡광검출기의 흡수파장 360nm에서 검출되는 크로마토그램

의 높이나 면적 등으로 포름알데히드 농도를 구한다. 표 4는 알데히드류 분석을 위해 설정한 HPLC의 분석조건을 나타낸다. 검량선 작성은 구입한 HCHO 표준용액(carb carbonyl-DNPHmix, 200 ppm)을 아세트니트릴 용액으로 희석해 가면서 검량선 작성에 필요한 표준용액을 제조하였고, 각 표준용액을 HPLC에 의해 분석하여 각 성분별 면적을 기준으로 검량선을 작성하였다. 그림 9,10,11은 표준용액의 분석에 의해 나타난 알데히드류의 크로마토그램과 실제 시료의 크로마토그램 및 작성된 검량선을 각각 나타낸다.

실내공기질공정시험방법상의 발산속도 산출 및 결과 표현 방법은 시험편을 소형챔버에 넣고 나서 측정을 개시한 경과시간 t에 있어 단위면적당 발산속도 EFa는(식1)에 따른다. 소형챔버 농도Ct는 경과시간 t에 있어 대상VOCs, 포름알데히드 및 다른 카르보닐화합물, 또는 TVOC농도를 나타낸다. Ctb.t는 경과시간 t에 대한 트래블 블랭크농도를 표시한다.

단위면적당 발산속도 EFa는

$$EFa = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times Q}{A} = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times nV}{A} \quad (1)$$

$$= (C_t - C_{tb,t}) \times q = (C_t - C_{tb,t}) \times \frac{n}{L}$$

- 비고 1. 목적에 따라서는 발산속도EF를 시간/농도 관계에 따라, 예를 들면 농도/시간 데이터에 의한 감쇄모델을 적용함으로써 산출하는 방법도 있다.
2. 단위길이당 발산속도 EFI, 단위체적당 발산속도 EFV, 개수단위당 발산속도 EFu는 식(2)~(4)에 따른다.

단위길이 당 발산속도 EFI

$$EFI = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times Q}{L} \quad (2)$$

단위체적당 발산속도 EFV

$$EFV = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times Q}{V} \quad (3)$$

개수단위당 발산속도 EFu

$$EFu = \frac{(C_t - C_{tb,t}) \times Q}{u} \quad (4)$$

3. 소형챔버 내부의 CFD 해석 결과

소형챔버의 내부 기류흐름 및 챔버내부의 균일한 농도 분포의 형성등은 건축자재의 정확한 방출농도 값을 알기 위한 상당히 중요한 전제조건중의 하나라 볼 수 있다. 국내에서 소형챔버 내부의 CFD해석은 아직 활발하게 이루어지지 않았다. 이에 STAR CD 3.15를 이용하여 소형챔버내부의 기류 및 농도분포 그리고 균일성등에 관한 CFD해석을 실시하였다.

실내기류, 온도, 오염물질 농도 등의 공기분포를 예측하기 위해서는 실내공기의 거동을 구해야 하며, 유체의 지배방정식을 해석하여야 한다. 지배방정식에는 기류를 해석하는 Navier-Stokes 운동방정식(질량보존), 연속방정식(운동량 보존), 열이동과 운동분포를 구하는 에너지 방정식(에너지보존법칙) 및 물질농도를 구하는 농도 방정식(이류확산 방정식)이 있으며, 다음 표 5의 식으로 표현된다. outlet은 free slip으로 하였으며 공간을 약 394,000개로 분할 하였다.

소형챔버내부 기류와 농도의 CFD 해석 결과는 그림 12과 그림 13의 내부기류 및 농도해석 결과의 그림으로 표시하였다

그림 12중 그림(a)는 소형챔버를 CFD 해석하기 위하여 내부를 메쉬로 분할한 상태를 보여주고 있으며 그림(b)와 (c)는 기류의 유동 및 속도를 Inlet(inflow)의 특성은 다음과 같다.

표 5. 물리적 모델방정식

연속식	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0$
운동량 방정식	$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} + \rho g \delta_{i3}$
난류에너지 k의 수송방정식	$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k + G_k - \epsilon$
소산율 ε의 수송방정식	$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \epsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} P_k + C_{\epsilon 3} G_k - C_{\epsilon 2} \epsilon)$
에너지 θ의 수송방정식	$\frac{\partial(\rho \theta)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \theta)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right)$
스칼라 φ의 수송방정식	$\frac{\partial(\rho \phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \phi)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\phi} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right)$
상태방정식	$p = \rho R \theta$ $\mu_t = C_\mu \frac{\rho k^2}{\epsilon}$ $-\overline{u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$ $G_k = -\frac{g_i}{\sigma_\theta} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \delta_{i3}$
	$C_\mu = 0.09, C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92,$ $\sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, \sigma_\theta = 0.9, \sigma_\phi = 1.0,$ $C_{\epsilon 3} = C_{\epsilon 1} (\text{where } G_k > 0), C_{\epsilon 3} = 0.0 (\text{where } G_k \leq 0)$

$$\left(\frac{U}{U_n} \right) = \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$k = \frac{3}{2} (U \times D)^2$$

$$\epsilon = \frac{C_\mu \times k^{\frac{3}{2}}}{\ell}$$

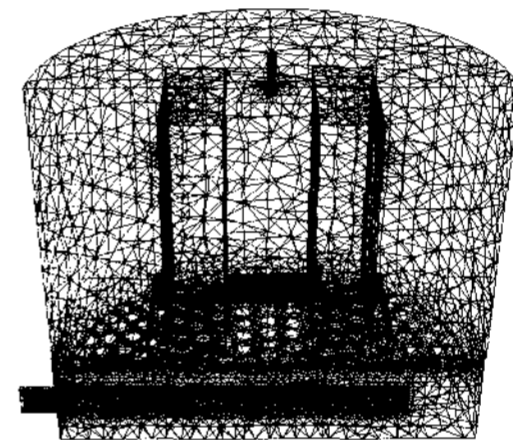
$$\epsilon = 4 \times (C_\mu \times k(z))^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{Z}{U_n} \right)^{\frac{1}{4}}$$

여기서, U : 유입되는 바람의 풍속[m/s],
 U_n : 기준풍속[4m/s],
 Z : 지면에서의 높이[m],

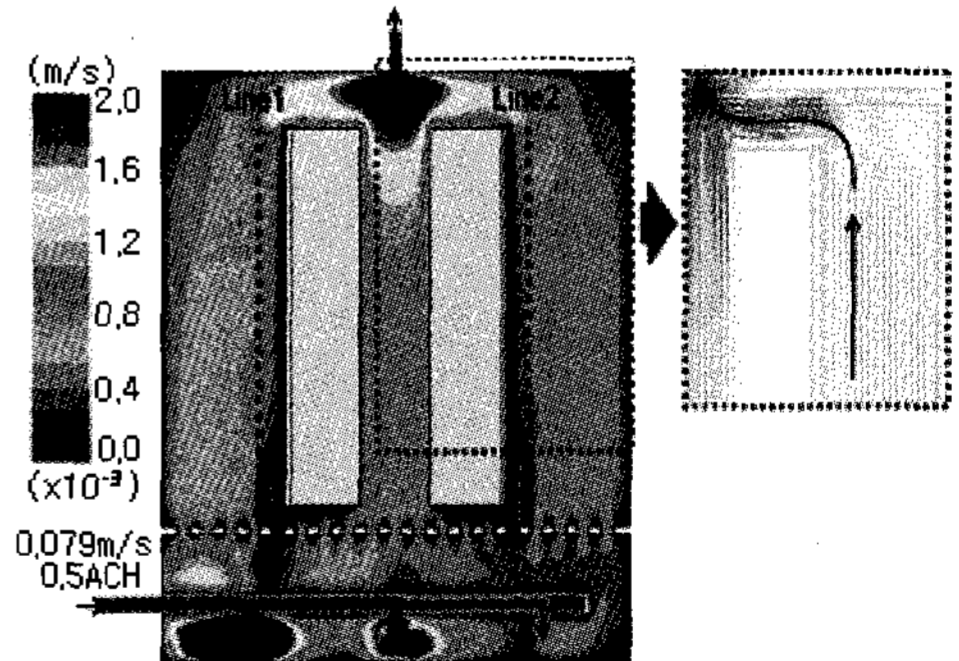
Z_n : 기준높이[0.3m],
 ℓ : 난류의 특성길이[m],
 k : 난류에너지 (m^2/s^2), C_μ : 0.09

표시한 그림이다.

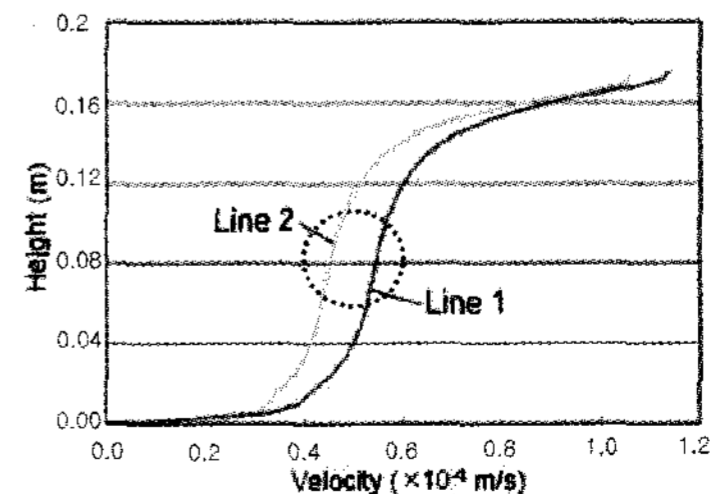
그림 12의 기류의 분포와 흐름의 방향이 챔버내부에 와류의 형성으로 인한 농도의 집중현상과 같은 챔버내 불균일 현상이 적고 균일하게 일정방향을 형성하여 안정된 흐름을 형성함을 알 수 있었으며 챔버내의 농도를 표시한 그림 13의 농도 분포 역시 청정공기가 유입되는 급기구 입구부분에서부터 시료틀의 시료노출면까지 상당부분 균일한 농도 분포를 형성함을 볼 수 있었다.



(a) 메쉬 분할(394,000셀) 구조



(b) 소형챔버내 기류속도 & 유동형상



(c) 그림(b)의 line1과 line2 에서의 챔버내 기류속도
 그림 12. 20L 소형챔버의 메쉬분할과 기류해석 결과

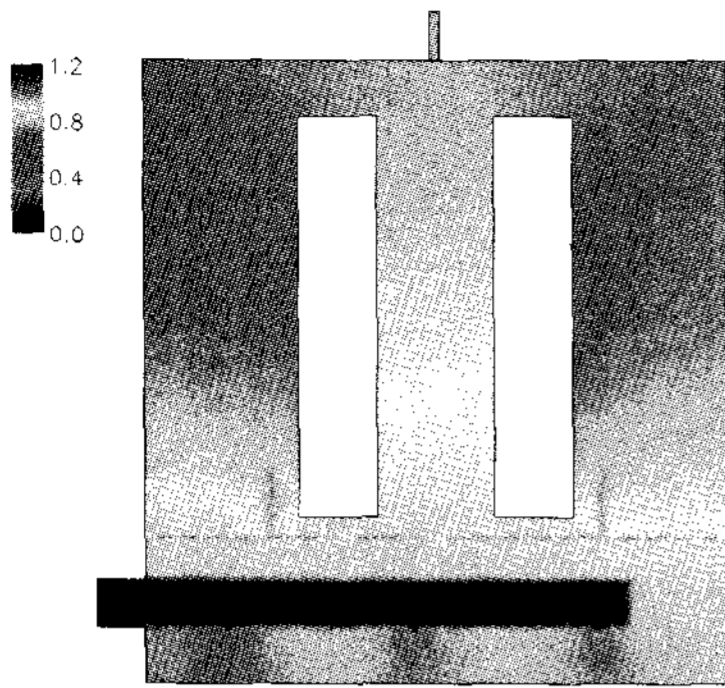


그림 13. 20L 소형챔버의 내부 농도분포의 형성결과

표 6. CFD 경계조건

구 분	경 계 조 건	
소형챔버	환기횟수	0.5 회
	유입풍량	0.079 m/s
	유입 오염물질농도	0 mg/s
CFD 시뮬레이션	난류 모델	층 류
	Mesh 수	394,000 개
	오염물질 공기중의 확산계수	$1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
	자재 표면농도	1 mg / m ³
	Re 수	44

* 유입구의 풍속, 직경을 기준으로 산정

표 7. 소형챔버 자재표면의 대류물질전달계수와 대류열전달계수

대류물질전달계수	0.022 mg / m ² h (mg / m ³)
대류열전달계수	0.0076 W / m ² °C

챔버내부의 오염물질 농도해석시의 오염물질 농도는 q/Q 로 무차원화한 농도값이며, q 는 발생량(kg/s), Q 는 유입공기(kg/s)이다. CFD(STAR CD 3.15) 해석결과는 기류의 분포와 내부흐름이 챔버내부에 균일한 흐름을 형성하고 있었으며 농도 분포역시 청정공기의 급기구 부분에서부터 시료틀의 시료노출면까지 상당히 균일한 농도분포를 형성함을 볼 수 있었다. 챔버내부의 기류의 흐름의 불균일성이나 그로 인하여 발생할 수 있는 오염물질의 불균등 분포로 인한 시료채취시 챔버내 농도의 몰림현상이나 난류로 인한 농도분포의 불균일성,

그로 인한 시료채취시의 불균일한 농도검출 가능성이 크지 않음을 알 수가 있었다.

4. 건축자재 실험결과

건축자재의 실측에 사용된 49개의 건축 마감자재는 국내 판매량 상위 건축자재 제조업체에서 친환경 제품 인증을 받기 위하여 오염물질 방출강도 값의 실험을 의뢰한 자재들이며, 친환경 인증을 받기위한 제품들이라 대부분이 오염물질 배출량이 적고 우수한 제품들로 구성되어 있다. 실험의 조건은 시료당 챔버내에서 7일동안 수행되었으며 7일후 챔버에서 공기시료를 포집하였다.

표 8. 실험 바닥재

제 품	샘 플 량	비 고
목질바닥재	9 종	온돌마루
PVC바닥재	23 종	
도 료	2 종	바닥도료용
접 착 제	15 종	

① 바닥재

공동주택의 바닥재는 일반적으로 온돌마루와 PVC장판(비닐장판)이 주 마감재로 쓰이고 있다. 이에 실내바닥의 일반적인 내장재중에서 목질계와 PVC 계통의 2종의 바닥재를 선정하여 오염물질 방출량 실험을 실시하였다. 여기서 목질계의 바닥재란 일반적으로 온돌마루와 강화마루를 포함하는 것으로 여기서는 온돌마루만을 선택하여 실험을 실시하였다.

실험의 결과에 의하면 일반적인 목질계 바닥재보다는 전체적으로 PVC바닥재에서 휘발성유기화합물이 많이 검출되었다. 물론 일반적인 목질계바닥재가 단순한 목재 하나만으로 이루어지지 않은 복합자재인 점을 감안하면 PVC바닥재보다 목질계 바닥재에서 휘발성유기화합물이 많이 검출될 수 있을 것으로 유추할 수도 있으나 실험의 결과는 목질계보다는 PVC바닥재에서 많은 휘발성유기화합

물이 방출되는 것으로 나왔으며 포름알데히드의 방출량은 적은량이 검출되는 것으로 나타났다.

표 9. 바닥재의 방출량 결과

구분	제품 분류	포름알데히드 (mg/m ² ·h)	TVOC (mg/m ² ·h)
국내	목재바닥재-1	-	0.210
	목재바닥재-2	0.0077	0.168
	목재바닥재-3	0.001	0.032
	목재바닥재-4	-	0.204
	목재바닥재-5	0.002	0.132
	목재바닥재-6	0.039	0.199
	목재바닥재-7	0.007	0.167
	목재바닥재-8	0.004	0.010
	목재바닥재-9	0.003	0.256
	PVC바닥재-1	-	0.168
	PVC바닥재-2	-	0.160
	PVC바닥재-3	0.0064	2.297
	PVC바닥재-4	0.002	0.769
	PVC바닥재-5	0.0001	0.593
	PVC바닥재-6	0.001	0.302
	PVC바닥재-7	-	0.173
	PVC바닥재-8	-	0.383
	PVC바닥재-9	0.004	0.274
	PVC바닥재-10	0.003	0.391
	PVC바닥재-11	0.002	0.354
	PVC바닥재-12	0.003	0.048
	PVC바닥재-13	0.003	0.009
	PVC바닥재-14	0.003	0.122
PVC바닥재-15	0.011	0.295	
PVC바닥재-16	0.006	0.134	
PVC바닥재-17	0.01	0.492	
PVC바닥재-18	0.01	0.068	
PVC바닥재-19	0.004	0.076	
PVC바닥재-20	0.003	0.192	
PVC바닥재-21	0.004	0.363	
PVC바닥재-22	0.002	0.133	
PVC바닥재-23	0.004	0.594	

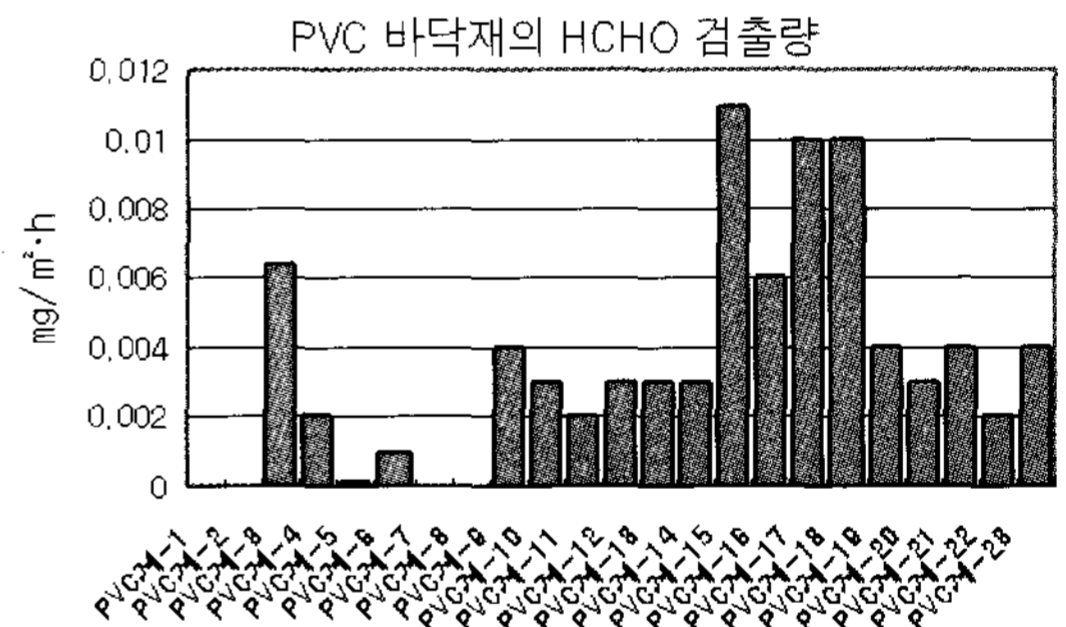
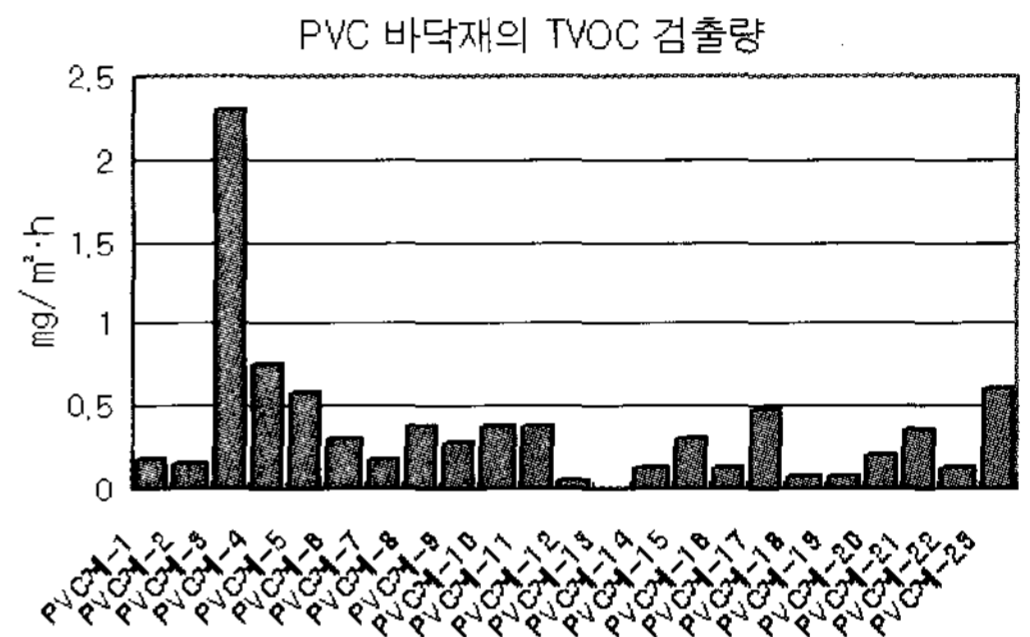
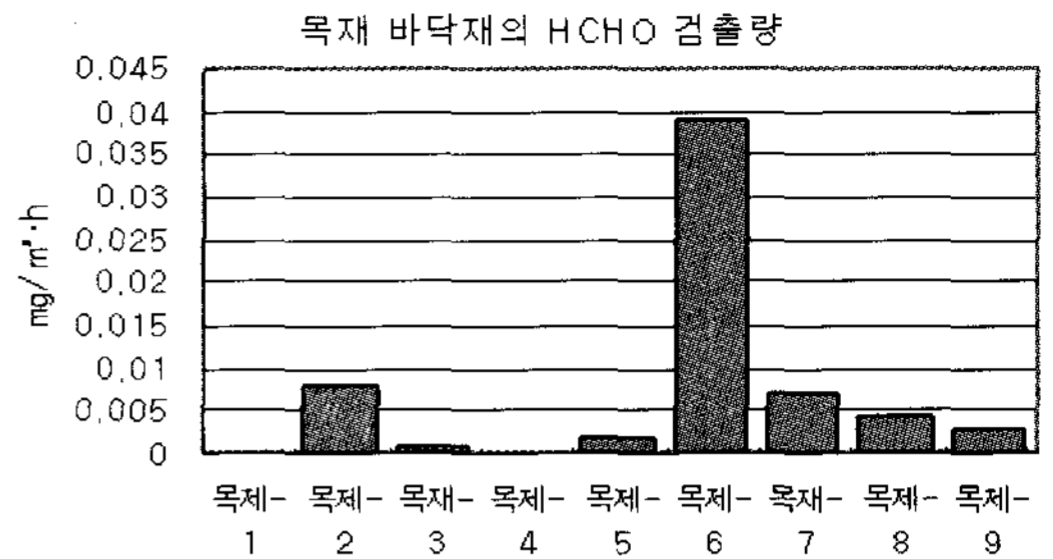
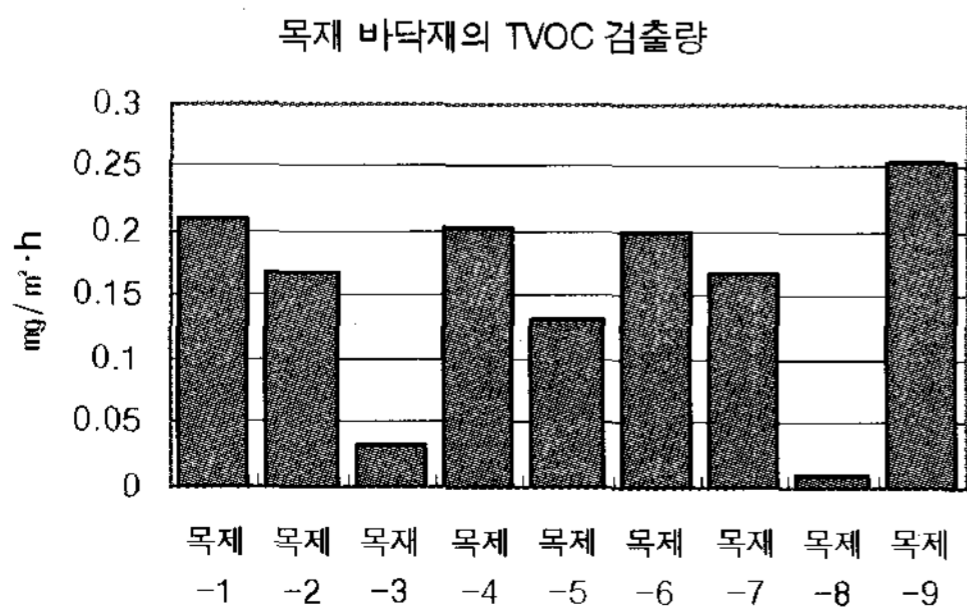


그림 14. 바닥재의 검출량 결과

② 도료 및 접착제

도료는 공동주택에서 주로 쓰이는 건축용 마감용 (베란다 벽)을 중점으로 방출량을 조사하였다. 도료의 경우 샘플의 수가 2종으로 적음으로 추후 도료부분의 추가적인 방출량 실험을 실시하여야 할 것이다. 실험결과에 의하면 전체적으로 바닥재에 비하여 평균적으로 약간씩 높은 수치를 보여주고 있다. 도료의 경우 샘플수가 적어 모든 도료를 대표한다고 볼 수 없으나, 평균적으로 다른 건축자재 보다 높은 수치를 보여주고 있다. 접착제의 경우도 접착제의 용도와 제조특성상 휘발성 유기화합물과

포름알데히드 방출량이 높을 것으로 유추할 수 있었으나 바닥용 건축자재등에 비하여는 전반적으로 높게 나타났으나 도료보다 상당히 적은 값을 보여주는 결과들도 있었다.

표 10. 도료 및 접착제의 오염물질 방출량 실험 결과

구분	제품 분류	포름알데히드 (mg/m ³ ·h)	TVOC(mg/m ³ ·h)
국내	도료-1	0.004	1.262
	도료-2	0.003	1.109
	접착제-1	0.002	0.704
	접착제-2	-	1.011
	접착제-3	-	0.625
	접착제-4	0.737	0.737
	접착제-5	0.03	0.122
	접착제-6	0.007	0.128
	접착제-7	0.004	1.378
	접착제-8	0.016	0.787
	접착제-9	-	1.144
	접착제-10	0.018	0.343
	접착제-11	0.01	0.440
	접착제-12	0.014	0.795
	접착제-13	0.009	1.484
접착제-14	0.009	1.599	
접착제-15	0.009	1.671	

각 마감자재의 종류별로 방출량 실험결과를 분석해보았다. 본 연구의 오염물질 방출량 실험의 대상이 된 측정 건축자재의 경우 대부분이 오염물질 방출량을 저감시킨 신제품이 대부분이란 점을 감안하여 오염물질 방출량 측정 결과값을 비교 검토하여야 할 것이다.

전체적으로 휘발성 유기화합물과 포름알데히드의 방출 특성은 실제적인 건축자재 생산지에서의 직접수거의 유무와 실험실까지의 운반경로와 보관기간 등의 여러 가지 주변 여건을 고려해보면 좀더 많은 건축자재의 오염물질 방출실험을 통한 데이터의 수집이 필요하다 할 수 있겠다.

그림 16는 각 실험 건축자재의 개별 VOCs 방출동향을 그림으로 나타낸 것으로 각 건축자재의 종류에 따라 개별 VOCs 물질 분포도가 다른 것을 볼 수 있다. PVC 바닥재의 경우 목재바닥재에 비하여 전체적으로 VOCs 물질이 많이 검출되는 경향을 보여주고 있으나 그중에 표 11의 VOCs 목록 (1)Chloroform, (2)1,2-dichloroethane, (15)Ethylbenzene, (23)o-dichlorobenzene 등이 많이 검출되는 결과를 보여주고 있다.

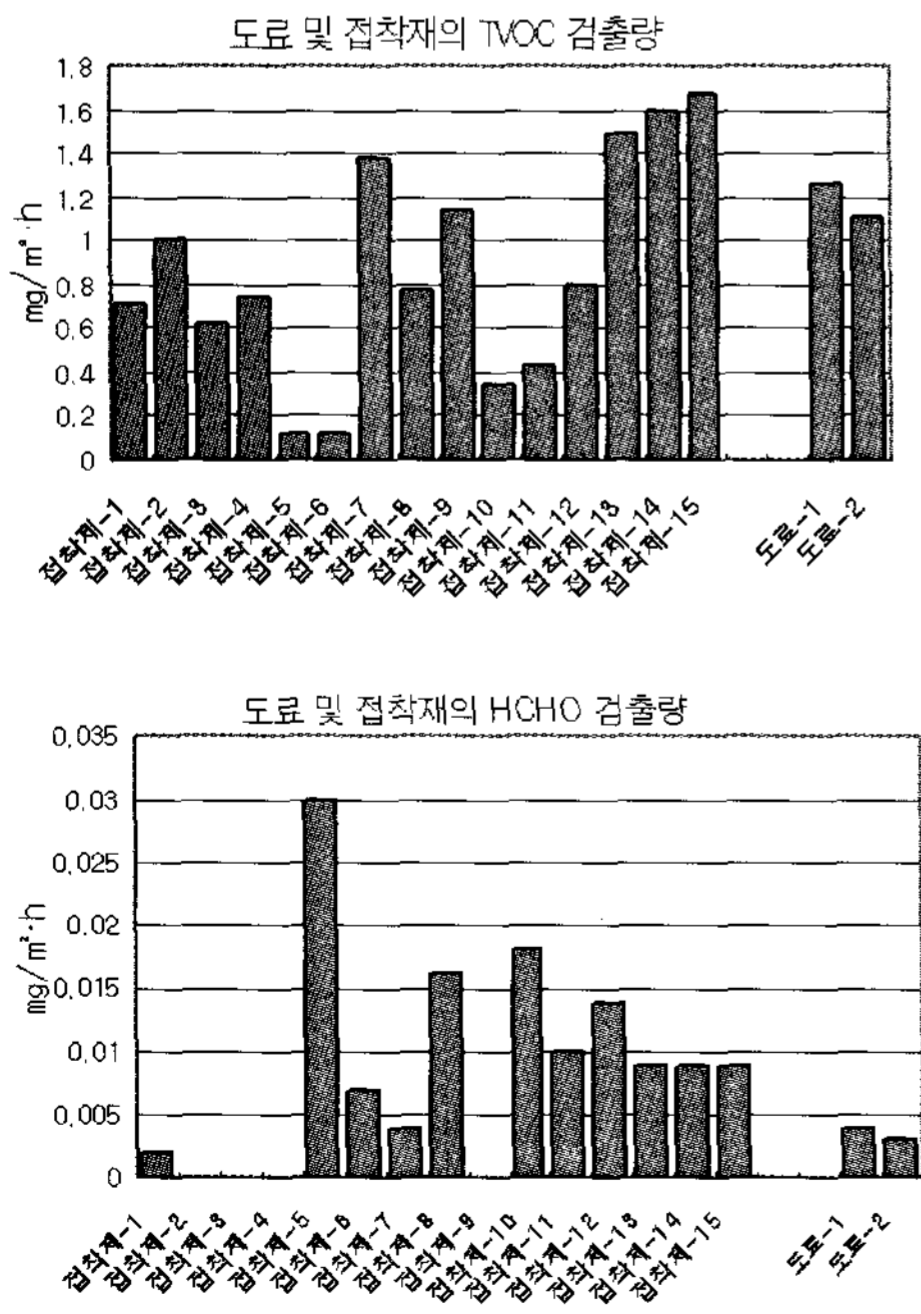
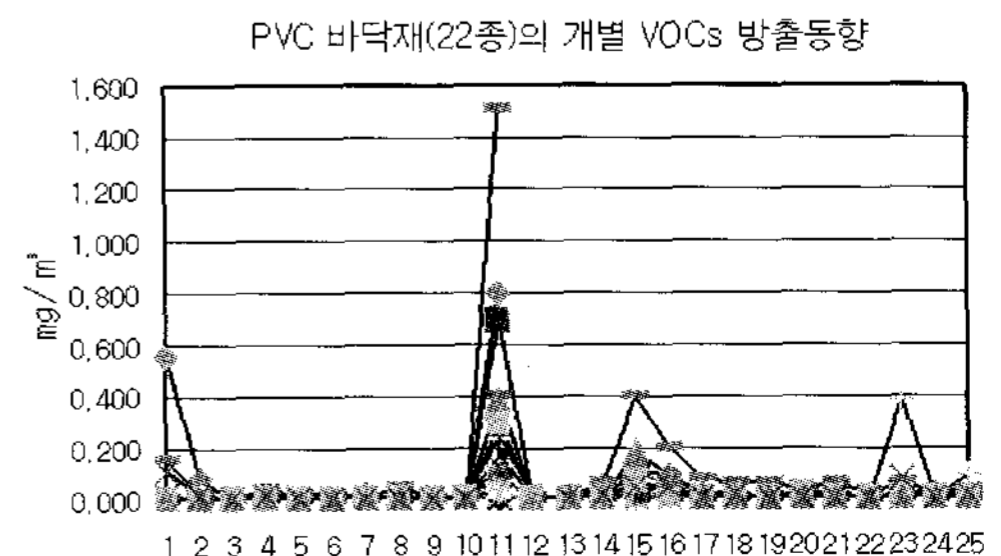
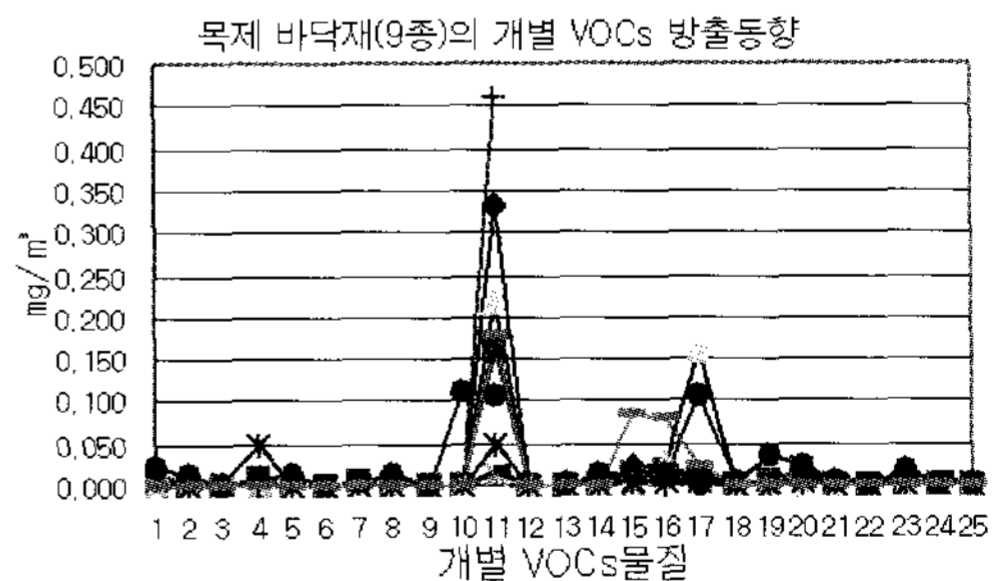


그림 15. 도료 및 접착제의 검출량 결과



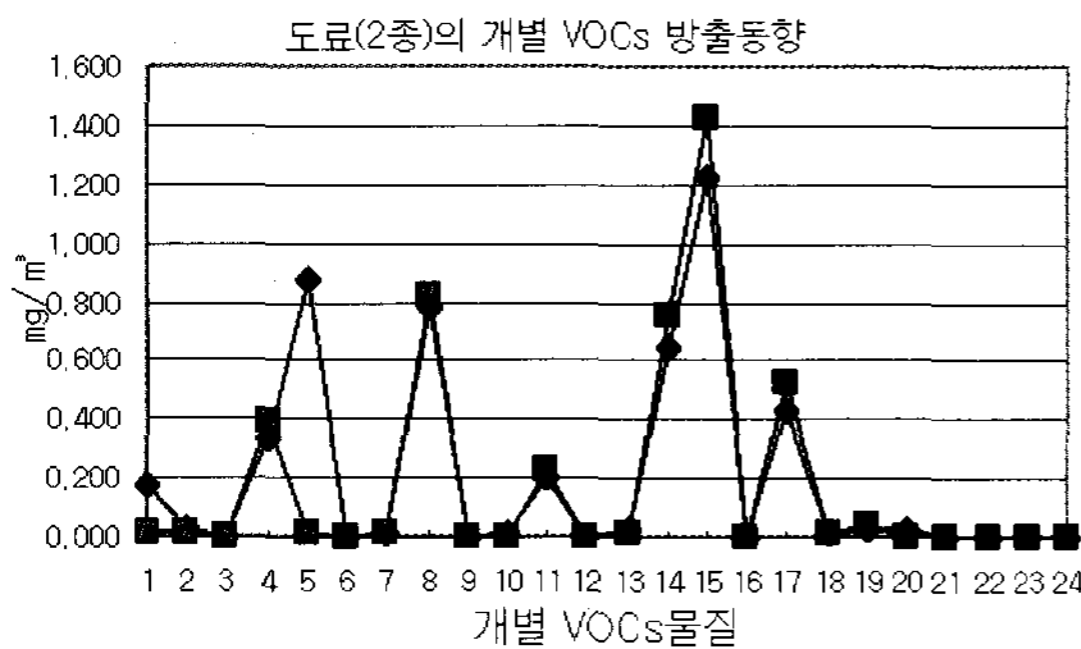
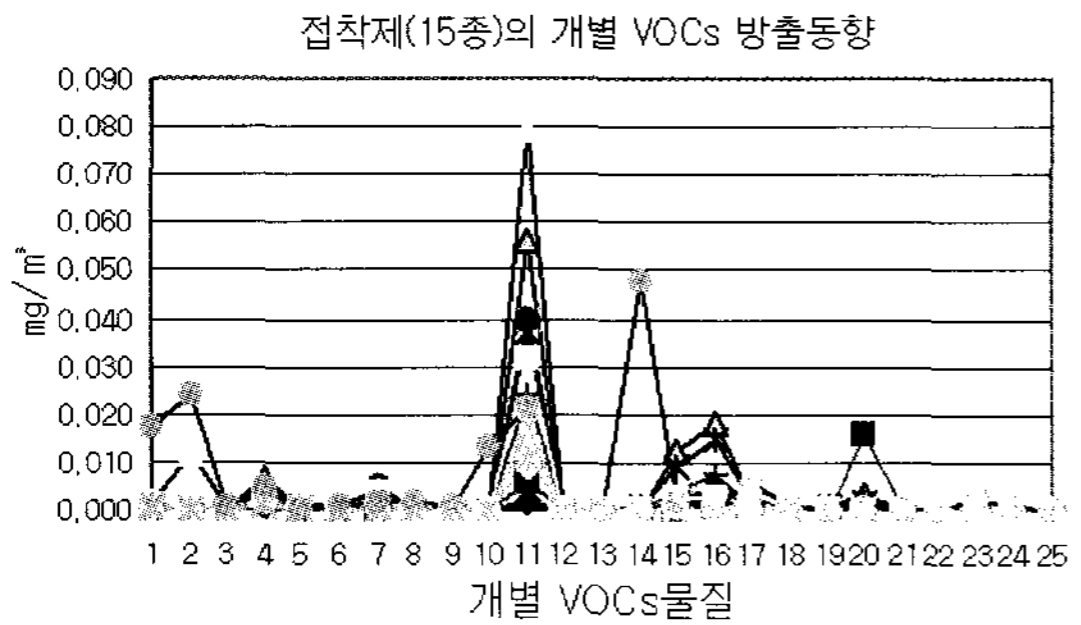


그림 16. 방출량 실험 결과자재의 개별 VOCs 검출동향

표 11. 검출 VOCs 목록(검출목록에서 unknown은 제외)

1	Chloroform	14	Chlorobenzene
2	1,2-dichloroethane	15	Ethylbenzene
3	1,1,1-trichloroethane	16	m,p-xylene
4	Benzene	17	Styrene
5	Carbon tetrachloride	18	o-xylene
6	1,2-dichloropropane	19	1,3,5-trimethylbenzene
7	TCE	20	1,2,4-trimethylbenzene
8	Cis-1,3-dichloropropene.	21	m-dichlorobenzene
9	Trans-1,3-dichloropropene	22	p-dichlorobenzene
10	1,1,2-trichloro ethan	23	o-dichlorobenzene
11	Toluene	24	1,2,4-trichlorobenzene
12	1,2-dibromoethane	25	Hexachlorobutadiene
13	PCE		

표 12. 오염물질방출농도 환경부 기준 (단위 : mg/m³h)

오염물질	구분	접착제	일반자재
포름알데히드		4이상	1.25이상
총휘발성유기화합물		10이상	4이상

비고 1. 일반건축자재란 벽지, 도장재, 목재 및 기타 건축물 내부 사용되는 건축자재를 말한다.
 2. 오염물질 방출기준이 있는 환경마크, 한국산업규격(KS) 등을 획득한 건축자재에 대하여는 해당 오염물질 측정을 제고할수 있다

접착제의 경우 오염물질 방출량이 적은 값을 보여 주고 있으나 측정대상이 대부분 신제품인 점을 감안하여 기존 제품의 측정실험 역시 필요하다 하겠다. 도료의 경우 다른 건축자재에 비하여 전체적으로 VOCs 물질이 많이 검출되는 것을 개별 VOCs 방출량 동향을 통해서도 알 수가 있다. 그림 17의 경우를 살펴보면 평균적으로 목재 바닥재보다는 PVC 바닥재가 PVC 바닥재보다는 접착제와 도료가 TVOC 방출농도가 더 높은 것을 알 수 있으며 포름알데히드의 경우는 접착제에서 높게 측정됨을 알 수 있다. 방출량 측정결과 전체적인 건축자재의 방출농도는 표 12의 국내 환경부 기준은 만족하는 것을 볼 수 있으나 위에서도 언급했듯이 본 연구에 사용된 대부분의 건축자재가 신제품인 점을 감안하여야 할 것이다.

5. 결 론

1. 소형챔버내 기류의 흐름 및 농도의 균일성을 CFD 해석을 이용, 검증하여 보았다. 실내공기 질공정시험방법에서 건축자재로부터 발생하는 오염물질 측정에 적용되는 소형챔버법의 성능 검증을 위하여 수행한 CFD(STAR CD3.15) 해석의 결과인 그림 12과 13을 살펴보면 기류 분포와 흐름의 방향이 챔버내부에서 균일한 상태를 형성하고 있고, 농도 분포 역시 청정공기의 급기구 부분에서부터 시료틀의 시료노출면까지 매우 균일한 농도분포를 형성함을 볼 수 있었다. 챔버내부 기류흐름의 불균일성과 오염물질의 불균등 분포로 인한 시료채취시의 챔버내 농도 집중현상이나, 난류에 의한 농도분포의 불균일성으로 인하여 시료채취시 불균일한 농도의 검출 가능성이 크지 않음을 알 수 있었다.
2. 국내에서 생산되는 총 49 개의 건축자재의 총휘발성유기화합물(TVOC)과 포름알데히드(HCHO)의 방출오염농도값을 소형챔버법을 이용하여 오염물질 방출량 실험을 실시하였으며, 방출량

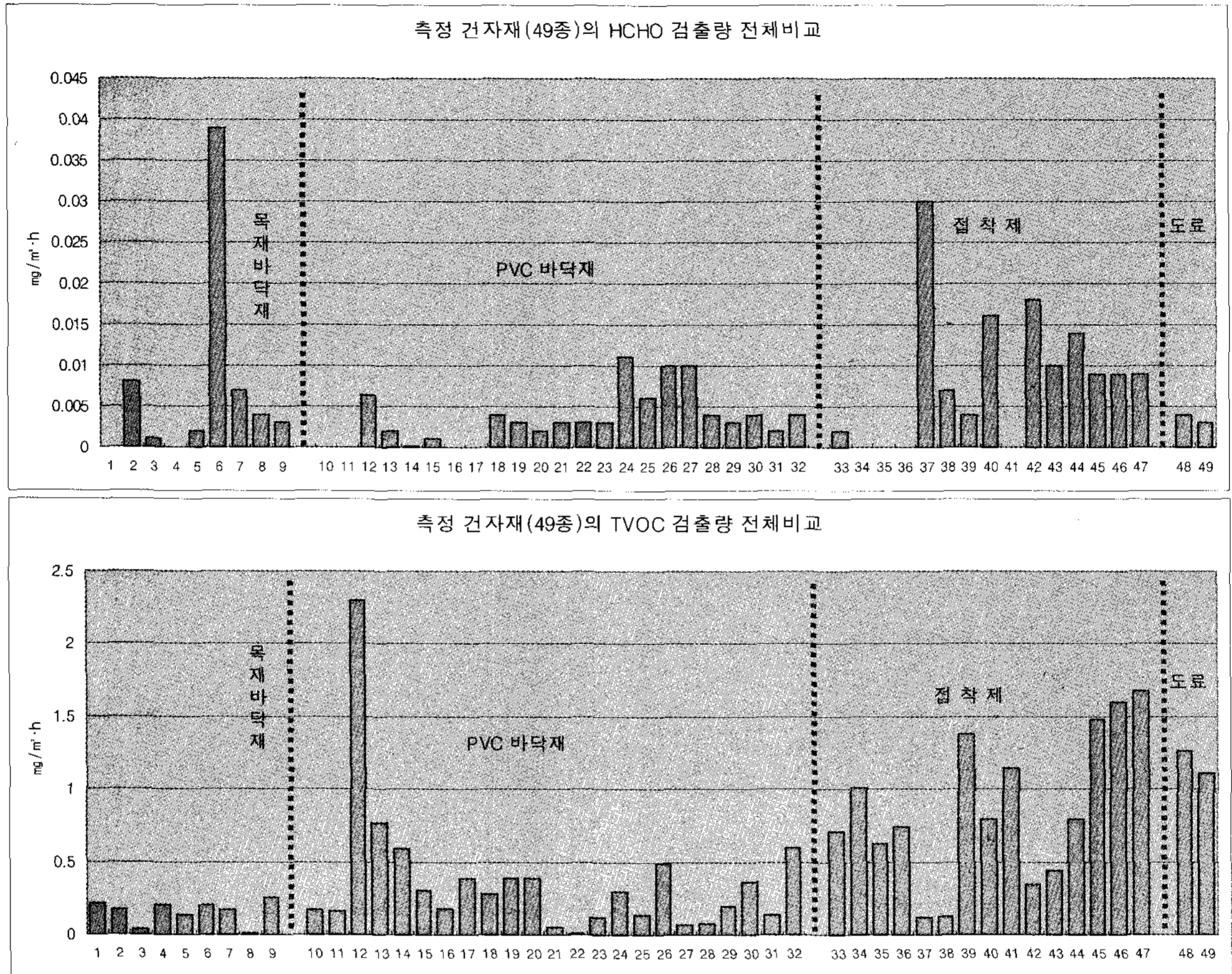


그림 17. 방출량실험 결과 자재의 전체 검출량 동향 비교

시험 결과 모두 표 12의 환경부오염물질 기준을 만족하였다. 각각의 오염물질 방출량 시험을 살펴보면 일반적인 목질계 바닥재보다는 전체적으로 PVC바닥재에서 휘발성유기화합물이 상대적으로 많이 검출되는 것으로 나타나고 있다. 물론 일반적인 목질계 바닥재가 단순한 목재 하나만으로 이루어지지 않고 접착제등을 포함한 복합자재인 점을 감안하면 PVC바닥재보다 목질계 바닥재에서 휘발성유기화합물의 농도가 높게 검출될 수 있을 것으로 예측될 수 있다. 그러나 실험의 결과는 목질계보다는 PVC바닥재에서 많은 휘발성 유기화합물이 방출되는 것으로 나타났으며, 그것은 자재의 제조시

또는 자재 원재료의 문제점에 기인한 것으로 사료된다.

도료의 경우 샘플수가 적어 모든 도료를 대표한다고 볼 수 없으나, 평균적으로 다른 건축자재보다 높은 수치를 보여주고 있다. 접착제의 경우도 접착제의 용도와 특성상 휘발성 유기화합물과 포름알데히드 방출량이 바닥용 건축자재등에 비하여 전반적으로 크게 나타났으나, 전체적으로 유의한 수준의 결과값을 보여주지는 않았다.

참 고 문 헌

1. 한국표준협회, KS F 3101, KS F 3118, KS

- F 3119, 1997
- 2. ENV, European Prestandard ENV 13419-1, 13419-2, 13419-3 1999
- 3. 일본 규격협회, 소형챔버법(JIS A 1901), 2003
- 4. 김신도외, 실내공간의휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)특성과악 및 제어방안에 대한 기초조사, 환경부보고서, 2000
- 5. 김신도 외, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리 방법 연구, 환경부, 2002
- 6. 유복희 외, 가구배치 형태에 따른 실내기류 분포 및 환기효율 분석, 대한건축학회 논문집(계획계) : v.18 n.12(2002-12)