

건축자재의 VOCs 방출 시험방법 및 방출 특성

조 완 제

대한주택공사 주택도시연구원 (4iaq@knhc.co.kr)

건축 마감재로부터 발생하여 실내공기를 오염시키는 물질은 휘발성유기화합물(VOCs), 포름알데히드, 중금속, 석면, 인공광섬유(Man-Made Mineral Fibres), 라돈 등이 있다. 그 중 휘발성유기화합물과 포름알데히드는 최근 실내공기질을 악화시키고 거주자의 건강을 해치는 주요한 원인물질로 인식되고 있다. 나라별 또는 분야별로 휘발성유기화합물의 정의를 다르게 내리고 있는데 실내공기환경 분야에서는 주로 끓는 점을 기준으로 휘발성이 큰 VVOC(Very Volatile Organic Compounds), VOC(Volatile Organic Compounds), 비교적 높은 온도에서 방출되는 SVOC(Semivolatile Organic Compounds)로 구분하고 있으며 넓은 의미에서 VOC는 VVOC, VOC, SVOC를 모두 포함하나 일반적으로 건축자재에서 발생하는 VOCs이라 함은 끓는 점이 50℃에서 260℃ 사이인 휘발성유기화합물을 의미한다(표 1).

포름알데히드는 휘발성유기화합물에 포함되나 상이한 분석방법을 사용하고 방출기준도 VOCs와는 별도로 규정하고 있기 때문에 일반적으로 구분하여 명기하고 있다. 휘발성유기화합물은 건축자재로부터 오랜 시간동안 서서히 실내공기 중으로 방출되며, 농도가 낮고 그 종류도 매우 다양하기 때문에 검출이 쉽지 않은 것이 특징이다. 이런 이유로 VOCs 방출시험은 다른 실내공기 오염물질의 시험방법보다 측정·분석법이 까다로워 많은 노력과 시간 투자가 요구된다. 따라서, 건축자재의 VOCs 방출시험은 일반적인 가스상의 오염물질 측정처럼 측정기를 사용하여 측정과 동시에 분석데이터를 얻을 수 있는 휴대용 측정·분석기를 사용하기도 하나 발생농도가 높은 사업장(예;정유공장)이나 작업장에 주로 쓰이며 일반 건축물의 실내공기질이나 건축자재의 VOCs 방출

시험은 측정 후 실험실에서 따로 분석작업을 거친다.

건축자재의 방출 VOCs 측정방법

건축자재에서 발생하는 휘발성유기화합물을 측정하는 방법은 소재측정법, 데시게이터를 이용한 방법, 방출시험챔버법 등으로 구분할 수 있다. 소재측정법과 데시게이터를 이용한 방법은 일반적인 실내의 환경조건과 상이한 조건에서 실험이 이루어져 실내공기 중에서 일어나는 자재의 방출특성과는 차이가 있다. 따라서, 건축자재의 VOCs 방출시험은 주로 방출시험챔버법을 쓰고 있다. 챔버법은 실물크기의 실험실(Mock-Up)에서 측정할 때보다 비교적 저렴한 비용으로 시간을 단축하여 측정할 수 있어 건축자재의 VOCs 방출시험에 많이 이용되고 있다.

방출시험챔버는 소형챔버와 대형챔버로 나눌 수 있는데 소형챔버는 각종 건축자재 및 생활용품의 일부를 시험 시료로 사용하여 챔버에 넣고 시료로부터 발생하는 휘발성유기화합물을 측정하며 크기는 대개 용적이 1 m³ 이하의 챔버를 소형챔버라 일컫으며 1 m³ 이상을 대형챔버라 한다. 그러나 1~5 m³ 사이의 챔버는 유용성이 떨어져 거의 사용되지 않아 보통

<표 1> 실내 휘발성유기화합물 분류

구분	약어	끓는 점 범위 (완전 휘발 기간)	포집 방법
Very Volatile Organic Compounds	WVOC	1 - 100 ℃ (단기간)	활성탄
Volatile Organic Compounds	VOC	50 - 260 ℃ (6개월~수년)	Tenax, 활성탄, 탄소 분자분(Carbon molecular black)
Semivolatile Organic Compounds	SVOC	240 - 400 ℃ (15~30년)	플리우레틴폼, XAD-2



집중 기획 건물에서의 실내공기질 문제

5~10 m³ 또는 그 이상 용적의 챔버를 대형챔버라고 한다. 표 2는 소형챔버가 적용된 사례를 정리한 자료이다.

소형챔버법

일반적으로 적은 비용으로 챔버 제작이 가능하고 시험이 용이하며 시험의 신뢰성에서도 문제가 없는 소형챔버를 많이 채택하며 ISO 등 최근 대부분의 선진국에서 소형챔버를 건축자재에서 발생하는 휘발성 유기화합물 측정법으로 활용하고 있다. 소형챔버법을 간단히 말하면 건축물 내부의 실내와 유사하게 환경(온도, 습도, 환기회수 등)이 유지되도록 조성하고 시공될 건축자재의 일부분을 챔버에 넣고 건축자재에서 방출되는 VOCs를 측정하는 것이다. 여러 국제

<표 2> 소형챔버 적용사례

적용 수		적용 수	
환기 유무		챔버 재질	
환기 유	20	스테인레스	4
환기 무	15	황동	1
		알루미늄	1
용적(리터)		유리	13
< 1	11	폴리머	4
1-9.99	9		
10-100	5		
> 100	5		

* 자료 : Swedish National Testing and Research Institute, SP Report 1991:25

<표 3> 형태에 따른 소형챔버 적용사례

FLEC	박스형(육면체형)	실린더형(원통형)	기타
VTT BAM M-Class 바닥재무역협회 와세다대대한주택공사	Polytechnic대(프랑) 삼성물산 VTT Analysentrum(스웨덴) BAM	와세다대 서울시립대 기고시마대	La Sapienza대 (이탈리아) 공중위생원(덴마크)

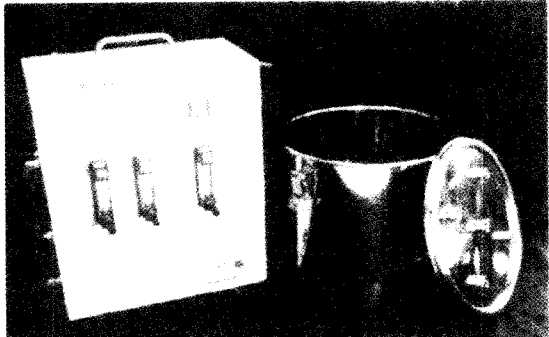
BAM : Federal Institute for Materials Research and Testing, Germany
M-Class : Finish Building Material Labelling
VTT : Technical Research Centre of Finland

규격에서 소형챔버를 규정하고 있으며 표 3에서와 같이 FLEC(Field and Laboratory Emission Cell)를 제외하고는 일반적으로 챔버의 형태를 지정하지 않고 있으며 박스형(육면체형)그림 1, 실린더형(원통형)그림 2 등이 사용되고 있다.

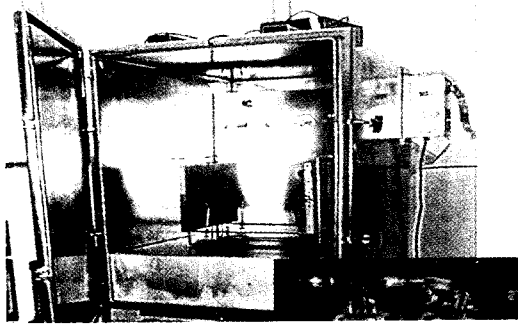
소형챔버 중 FLEC을 이용한 방법은 건축자재에 대한 휘발성유기화합물 방출시험 뿐만 아니라 현장에서의 실내공기측정 그리고 준공 건물의 구조체(마감면)에서 발생하는 휘발성유기화합물에 대한 측정도 가능하다. FLEC은 덴마크의 건설연구소, 공중위생원과 스웨덴 국립시험연구소가 공동으로 개발하여 현재 핀란드(M-Class; 건축자재 라벨링제도), 스웨덴(바닥재무역협회), 덴마크(실내환경 라벨링제도) 등 유럽 국가에서 공식 측정법으로 사용되고 있으며 최근에는 미국, 일본 등 국가에서의 사용도 늘고 있다.

표 4는 유럽, 미국 그리고 북유럽 소형챔버 규격이 요구하는 측정장치의 조건들이다. 표 4에서 볼 수 있듯이 규격에 따라 요구 조건이 상이하나 공통적으로 요구하는 조건은 아래와 같다.

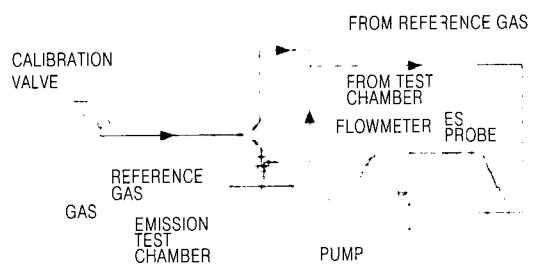
- 공통 요구조건
- 실내환경과 유사한 환경(일정 온도, 습도, 환



[그림 2] 실린더형(원통형) 소형챔버



[그림 1] 박스형(육면체형) 소형챔버



[그림 3] 기타 형태의 소형챔버

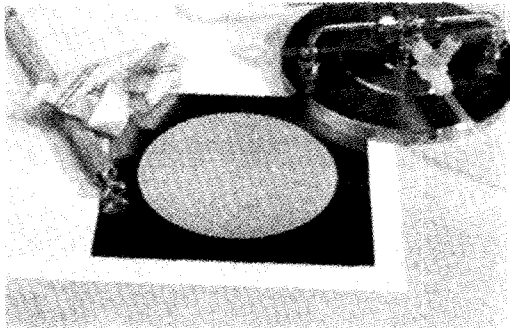


건축자재의 VOCs 방출 시험방법 및 방출 특성

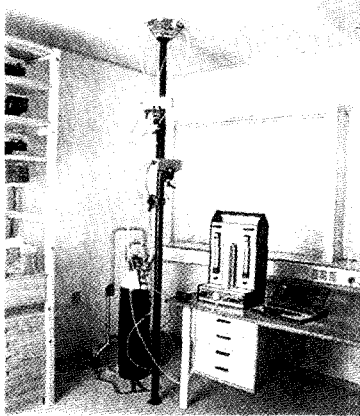
<표 4> 소형챔버 시험조건 비교

구분	ASTM	CEC	Nordtest	CEN
용적	-	-	35ml	35ml
재질	비 흡착성 표면	비흡착성 표면	스테인레스	스테인레스
환기회수	일정 환기회수	0.5-1/h	170-4800/h	171-4800/h
온도	일정 온도	23°C	23±1°C	23°C
기류 속도	일반적 기류 속도	> 0.3 m/s	0.035 - 0.1 m/s	0.035 - 0.1 m/s
습도	일정 습도	45%	50±3%	50±3%
시료부하율	일반적 사용패턴	일반적 사용패턴	Max. 507m ³ /m ³	-

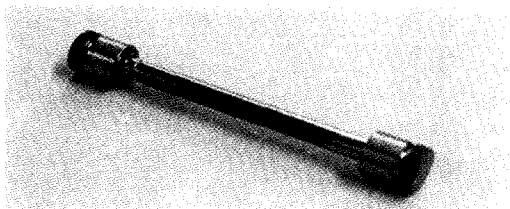
※ 자료 : "공동주택의 실내공기환경 개선방안 연구(1)", 대한주택공사, 2001
 ASTM : American Society for Testing & Materials
 CEC : Commission of the European Communities
 Nordtest : Organization for Testing in the Nordic Countries
 CEN : European Committee for Standardization



[그림 4] FLEC 시험실 측정



[그림 5] FLEC 현장 측정



[그림 6] 1 Bed형 Tenax 튜브

기회수, 기류속도, 시료부하율)이 지속적으로 조성되어야 한다.

- 실험장치의 재질로 인한 화학물질(VOCs)의 변형이나 챔버벽 등에 재흡착이 발생하지 않아야 한다.
- 챔버내 어디나 일정한 환경(실험조건)이 조성되어야 한다.

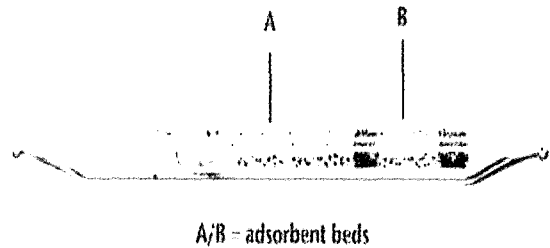
국내에는 일부 자재(벽지, 목재성형품)에 대해 KS에서 테시게이트법이나 소재측정법으로 측정토록 되어있다. 현재 일부 국가기관 및 공공기관에서 소형챔버법을 VOCs 방출 시험방법으로 채택할 계획에 있다. 예를 들면, 대한주택공사는 '건축 마감재의 포름알데히드 방출기준'과 함께 소형챔버법을 적용할 계획이며 한국공기청정협회는 현재 추진 중인 「환경친화자재 등급제」에 소형챔버법을 채택할 예정으로 원통형의 챔버를 사용하는 소형챔버법(I)과 FLEC을 사용하는 소형챔버법(II)가 그것이다.

휘발성유기화합물(VOCs, 포름알데히드) 포집방법

챔버는 VOCs 방출실험을 위해 일정 실험조건을 조성해주는 역할을 할 뿐이며 건축자재의 VOCs 방출량을 알기 위해서는 챔버 내의 공기를 포집하여 분석하여야 한다. 포집을 하기 위해서는 VOCs와 친화력이 있어 공기중의 VOCs를 흡착하는 물질을 사용하여야 한다. 1가지 물질을 넣은 1 Bed형(그림 6), 2가지의 다른 물질을 넣은 2 Bed형(그림 7)등이 있으며 실험 목적에 따라 실험자가 선택한다. 건축자재의 VOCs 및 포름알데히드 방출실험에는 1 Bed형의 Tenax 튜브와 포름알데히드용 DNPH 카드리가 규격화될 전망이다.

방출 휘발성 유기화합물 분석법

- VOCs 분석법
 건축자재에서 발생하는 VOCs는 주로 Tenax 튜브



A/B = adsorbent beds

[그림 7] 2 Bed 형 튜브

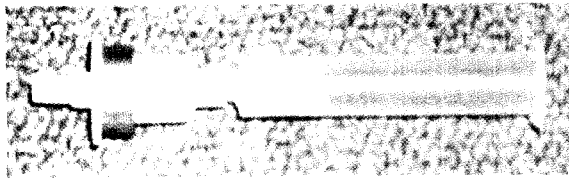


를 이용하여 포집하고 열탈착(Thermal Desorption) 장치로 분석 전 처리를 한다. 그 다음 GC에 적당한 컬럼을 사용하여 분석하거나 GC/MS를 이용하여 분석한다. 미국 환경청(EPA)의 TO-17은 흡착튜브를 이용한 VOCs 능동포집(Active Sampling) 시험의 전처리, 분석절차 및 품질보증/관리에 대하여 자세히 설명하고 있다.

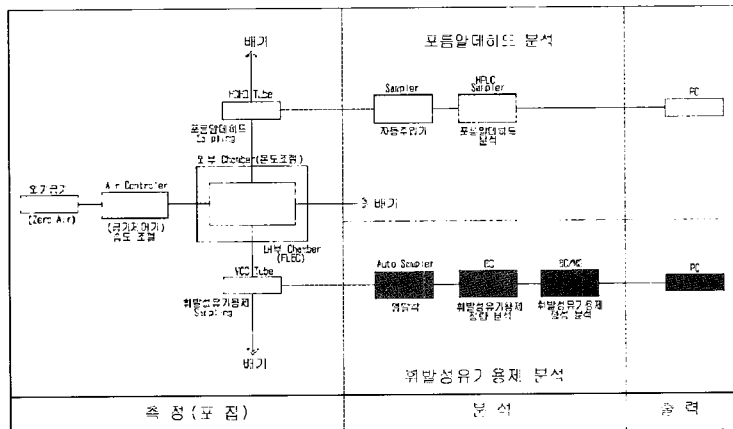
• 포름알데히드 분석법

화학적 유도체화법을 겸한 크로마토그래피법은 대표적인 카르보닐화합물 측정법으로서 감도가 뛰어나며 선택적인 검출이 가능하다는 잇점을 지니고 있다. 이 중 MBTH 유도체화법은 알데히드에 대해서만 정성·정량이 가능하나 DNPH 유도체화법(그림 8)은 시료포집 시 알데히드 뿐만 아니라 케톤과도 쉽게 반응하여 안정한 DNPH 유도체를 형성하게 되므로 카르보닐화합물에 대한 측정이 가능하여 주로 사용된다.

DNPH-카드리지를 이용하여 포집한 후 유도체화된 포름알데히드를 용매에 녹여 적당량을 고성능 액체 크로마토그래피(HPLC)에 주입하여 분석한다.



[그림 8] 포름알데히드 포집용 DNPH-카드리지



[그림 9] 건축자재의 VOCs 방출실험 흐름도

휘발성유기화합물(VOCs, 포름알데히드) 방출실험 순서

앞에서도 언급하였듯이 실내공기질 측정이나 건축자재의 휘발성유기화합물의 실험법은 다소 복잡하여 측정과 분석법을 익히는데 많은 시간이 필요하다. 실험을 처음 접하거나 다른 분야에 종사하는 이들은 이해가 쉽지 않을 것이다. 따라서, 본 절에서는 건축자재의 VOCs 방출실험을 사진과 함께 실험순서에 맞춰 설명해 본다(그림 9).

VOCs 방출실험 순서(그림10)

소형챔버 배기구에서 Tenax 튜브로 포집→Tenax 튜브, 분석 전 전처리(열탈착)→가스크로마토그래피/질량분석기(GC/MS)로 분석

포름알데히드 방출실험 순서(그림11)

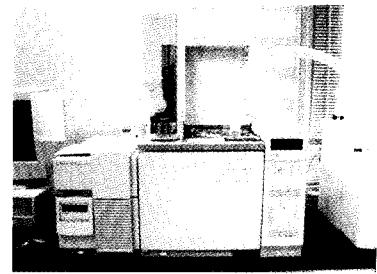
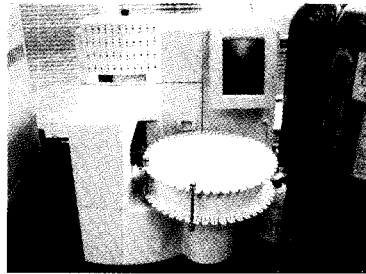
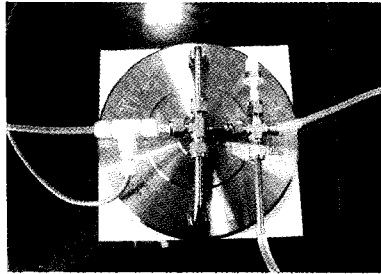
소형챔버 배기구에서 카드리지를 포집→용매로 유도체화된 포름알데히드 추출→HPLC 분석을 위해 vial에 주입→고성능 액체 크로마토그래피(HPLC)로 분석

건축자재의 VOCs 방출특성

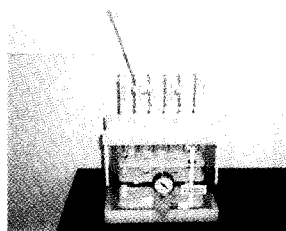
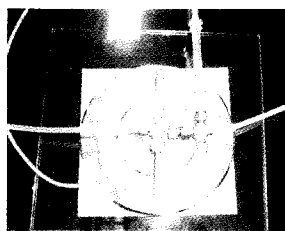
건축자재에서 발생하는 VOCs는 여러 가지 요소에 영향을 받는다. 건축자재에 포함되어 있는 휘발성유기화합물의 양이나 건축자재내 다른 화합물과 완전 결합을 이루지 못한 유린 화합물의 양, 자재 표면의 처리상태(예; 코팅), 또는 외부 환경(계절, 경과시간)에 따라 방출량이 증가하거나 감소한다. 아래는 이러한 요소별 방출 특성들이다.

계절별(온도, 습도) · 주택유형별 · 자재별 VOCs 방출특성

- 겨울 포름알데히드 방출량 = 여름 방출량의 2배
- 신축주택 포름알데히드 방출량 = 기존주택 방출량의 3배¹¹⁾
- 자재별 VOCs 방출량 = 접착제 > PVC 바닥재 > 페인트 > 카펫 > 실크벽지 > 비닐벽지¹²⁾



[그림 10] VOCs 방출실험 순서



[그림 11] 포름알데히드 방출실험 순서

기타 요소별 VOCs 방출특성³⁾

- 재료의 방출물질 조성
휘발성유기화합물의 함유량이 많을수록 방출량이 많아진다.
- 함유물질의 수증기압
수증기압이 높을수록 방출량이 많아진다.
- 자재의 표면적
자재의 방출 표면적이 클수록 방출량이 많아진다.
- 자재의 두께
자재의 두께가 두꺼울수록 휘발기간이 길어진다.
- 화학물질의 함유밀도
자재 내 휘발성유기화합물의 밀도가 높을수록 방출량이 많아진다.
- 표면의 처리상태
재료의 표면 처리 상태에 따라 방출량이 달라진다.
- 재료의 흡착성
재료의 흡착성이 크면 휘발성유기화합물이 자재에 흡착한 후 재방출 될 때 재방출 비율이 증가한다.

맺음말

최근 환경부, 한국공기청정협회, 대한주택공사 등

의 기관은 건축자재에서 발생하는 VOCs 가 실내공기환경 및 인체건강에 나쁜 영향을 미침을 인식하고 법이나 제도를 통해 문제를 해결하기 위해 방출기준과 실험방법을 마련 중에 있다. 현재 마련 중인 실험방법은 선진국에서도 규격화된 방법으로 신뢰성 확보차원에는 무리가 없을 것으로 판단되나 측정·분석업무가 복잡하여 상당한 실험기간과 비용이 요구된다. 결과적으로 실험을 의뢰하는 생산업체나 건설업체 측에서는 적지 않은 부담이 될 수도 있다. 향후 소비자의 부담을 줄이기 위해 빠른 시간에 적은 비용으로 분석결과를 확인할 수 있는 장비의 개발이 요구되며 향후 포집주기, 실험기간 등 개선을 통해 실험방법의 발전을 기대한다.

참고문헌

1. 松村年郎, "주거환경내 방산 화학물질 오염의 현황과 과제", 실내 방산화학물질 대책세미나, 2000
2. Marco M. et. al., "Indoor air quality; A comprehensive reference book", Elsevier, 1995
3. 윤동원, "실내의 VOC 오염과 제어 대책", 2000년 실내 VOCs 토론회, 2000 *