

실내공기질 예측 및 평가방법

실내공간 및 건축자재로부터 발생하는 휘발성유기화학물의 측정장치 및 측정방법을 소개하고자 한다.

송 두 삼

성균관대학교 건축공학과 (dssong@skku.edu)

서론

실내공기오염 문제가 미국, 유럽, 일본 등 선진국을 중심으로 고조되면서, 최근 국내에서도 이 문제에 대해 적극적으로 논의되기 시작하였으며, 정부관련기관 및 연구기관을 중심으로 대책마련을 위한 관제법령의 정비 및 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 구체적인 법령으로 작년(2003. 5. 29)에 환경부에서 고시한 “지하생활공간공기질관리법개정안(다중이용시설등의 실내공기질관리법)”을 들 수 있으며, 이 법안에서는 실내공기질 유지기준 및 권고기준, 실내공기질 공정시험방법 등에 대해 공고하고 있다. 또한 건축자재에서 발생하는 오염물질에 관해서도 규정을 하고 있다. 이에 국내에서도 생산된 건축자재에 대해 포름알데히드, TVOC 방출강도를 평가, 등급화하는 인증제도가 도입되어 있으며, 평가/분석을 실시하는 인증시험기관도 이미 몇 군데 지정되어 있는 상태이다.

주요 선진국의 경우 건축자재에서 발생하는 오염물질 방출량에 대한 측정법은 이미 규격화(예를 들면, JIS A 1901, ASTM D 5116 등)되어 있는 상황이나, 국내에서는 아직 구체적인 내용이 정비되지 못한 실정이다. 이에 본 고에서는 실내공간 및 건축자재로부터 발생하는 공기오염물질의 측정원리 및 그 방법에 대해 외국의 사례를 중심으로 살펴보고자 한다.

실내공간 및 건축자재로부터 유기화학성물 방출량 예측방법

실내공기로부터 많은 유기화학성오염물질이 검출

되며, 그 중 28%는 거주자의 생활용품에서 나머지 72%는 건축자재로부터 발생하는 것으로 보고 되고 있다. 실내공기환경을 계획함에 있어, 건축자재, 가구등으로부터 발생하는 오염물질을 측정함으로써, 정량적인 삭감이 가능할 것으로 사료된다. 실내공기질에 영향을 미치는 오염물질중에서 특히 본 고에서는 sick building syndrome, 화학물질과민증 등의 원인이 되는 포름알데히드(HCHO), VOCs(Volatile Organic Compounds: 휘발성유기화합물)을 중심으로 그 측정원리, 방법 등에 대해 상세히 고찰한다.

건축자재·시공재에 포함되는 화학물질의 종류

건축물에 이용되는 건축자재(이하 건재) 및 시공재(접착제 등)에는, 내구성, 향상, 강도의 증가, 코스트를 삭감 등을 위해 여러가지 화학물질이 사용되고 있으며, 이것은 실내공기 오염의 주원인이 되고 있다. 표 1은 화학물질을 포함할 가능성이 있는 건재,

<표 1> 화학물질을 포함할 가능성이 있는 건재, 시공재의 예

건재/시공재	오염화학물질
바닥재	포름알데히드
합판, 파티클보드	포름알데히드
집성재, 화장합판	포름알데히드
염화비닐제품	가소제
목재보존제(가압주입)	톨루엔, 키킬렌
목재보존제(표면처리)	톨루엔, 키킬렌, 유기린계
유성페인트	키킬렌
목공용접착제	가소제
에폭시수지계접착제	키킬렌, 가소제

*대표적인 가소제로는 프탈산계(DOP, DEP, DBP, DMP)가 있음.

시공재의 예를 보이고 있다.

건재로부터 휘발성화학물질 방출량을 측정하는 방법

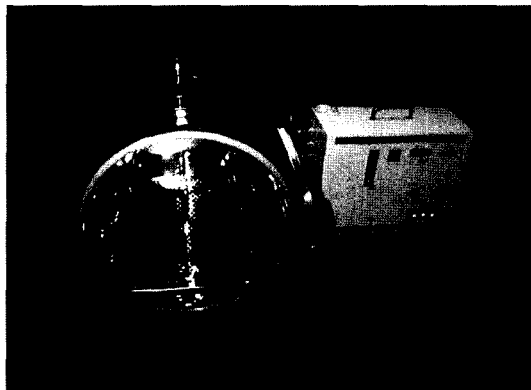
건재로부터 화학물질 방출량을 산정하는 방법은 간이측정기를 이용하는 방법과 챔버를 이용하는 방법이 있으나, 간이측정방법은 측정결과의 신뢰도 면에서 문제가 많기 때문에 본고에서는 챔버를 이용하는 방식에 대해 상세히 설명하고자 한다.

• 챔버에 관한 규정 : 미국 ASTM 규격 및 ECA (유럽 공동연구) 규격

미국 ASTM (american society for testing materials) 및 ECA (european collaborative action)에서는 측정 챔버에 대해 구체적으로 규정을 하고 있다. 챔버의 재질은 유리나 스테레스로 정하고 있으며, 표 2와 같이 챔버는 그 규모에 따라 대형챔버와 소형챔버로 분류하고 있다. 대형챔버는 실제스케일의 가구, 기기 등을 내부에 설치하여 실험이 가능한 챔버를 말하며, 소형챔버는 용적이 1m³이하인 챔버로, 측정용 건재를 챔버내에 설치하는 내부설치형, 건재표면에 설치하는 표면설치형으로 분류할 수 있다.

• 완전혼합형 소형챔버 (small chamber)

완전 혼합형 소형챔버(small chamber)란, 챔버내의 기류상태를 무시해, 공급공기는 챔버내에서 완전 혼합(확산)이 된다고 가정하여 화학물질의 방출량을 예측하는 방법이다. 완전확산이라는 가정을 전제로 하고 있기 때문에, 간이챔버법으로 생각할 수 있다.



[그림 1] ADPAC system

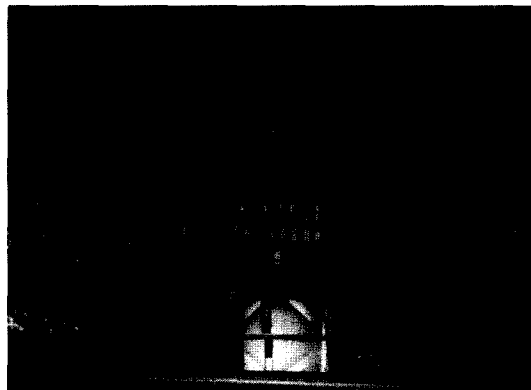
다음은 완전혼합형 소형챔버의 예를 나타낸다.

1) ADPAC : 일본 와세다대학 타나베 연구실에서 개발한 것으로 미국 ASTM 규격 및 유럽 ECA 리포트에 준하여 만들어진 챔버이다. 패킹부분은 테플론가공으로 되고 있고 본체는 스테레스제이다. 사이즈는 ASTM (D6007-96)에 준하여 20L-1000L까지 가능하며, 발생오염화학물질을 분석할 뿐만 아니라, 지각(관능)시험 유닛를 장착하는 것으로써 olf, decipol 등의 실험도 가능하도록 되어 있다(그림 1).

2) CLIMPAQ : 덴마크 건축연구소에서 개발된 소형챔버로 유리로 만들어져 있으며, 사이즈는 1005(x)×250(y)×220(z) [mm] 이다. 내부에 소형팬이 설치되어 있어 챔버내 공기를 혼합한다. 그림 2에서 보이는 것과 같이 측정대상 건재사이에 바람이 흐르도록 일정 간격으로 건재가 설치된다. 또한 지각성 공기질 측정도 가능한 시험

<표2> ASTM 및 ECA의 챔버규격

		ASTM	ECA
용적	소형챔버	0.02-1 m ³	0.02-1 m ³
	대형챔버	22 m ³	12-80 m ³
	구분점	5 m ³	1 m ³
측정조건	온도	25±1℃	23±1℃
	상대습도	50±4%	45±3%
	환기회수	0.5±0.05회/h	0.5±0.05회/h



[그림 2] CLIMPAQ system



유니트가 설치되어 있다.

- 3) **Desiccator** : 일본공업규격(JIS) 및 일본농림규격(JAS)에 따른 HCHO(포름알데히드) 방출량 측정용챔버이다. 통칭 Desiccator법이라고 한다. JAS 규격에서 Desiccator법이란, 온도를 일정하게 한 밀폐공간에 시험편(15cm×5cm의 시험편을 10매)과 포름알데히드 포집제로서의 물(300ml)을 공존시켜, 시험편으로부터 밀폐 공간에 방출된 포름알데히드를 자연상태로 물에 흡수시킨다. 정해진 시간 경과후에 포집수의 포름알데히드 농도를 아세틸아세톤법으로 정량하여, 그 농도를 mg/l의 단위로 표시하는 것이다.

• 경계층제어형 소형챔버

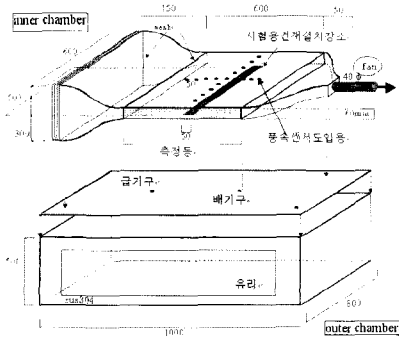
건재, 시공재로부터의 화학물질방출 성상은 내부 확산(재료내 확산)에 의한 것과 표면증발(증산)로 나눌 수 있다. 경계층제어형 소형챔버는 건재표면의 공기흐름 상태에 따라 화학물질방출성질이 지배적

인 요인이 되는 표면증발(증산)형 건재(예를 들면 페인트로부터 용제가 공기중에 확산되어 가는 것)를 대상으로 하는 챔버이다.

경계층형 소형테스트챔버는 시험용건재(테스트 부분) 표면을 정해진 풍속으로 기류가 흐르는 inner chamber (그림 3 상세도의 상부)와 환기를 위한 급기구 및 배기구를 가지며, inner chamber를 격납하는 outer chamber(그림 3 상세도 하부)로 구성된다. 경계층형 소형테스트챔버는 스텐레스로 구성되어 있으며, inner chamber에는 팬이 설치되어 있어 측정동내는 제3종 기계 환기에 의해 환기된다. 경계층형 소형 Test Chamber내에 공급되는 신선공기량과 inner chamber 측정동내의 환기회수(건재표면 풍속)는 독립제어가 가능하다.

• 건재표면설치형 챔버(그림 4, 5)

건재표면설치형 챔버는 방출량의 측정대상이 되는

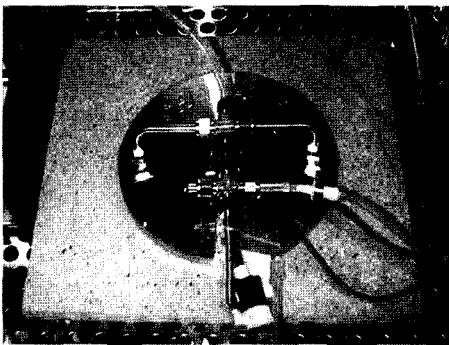


내부 및 외부챔버의 상세

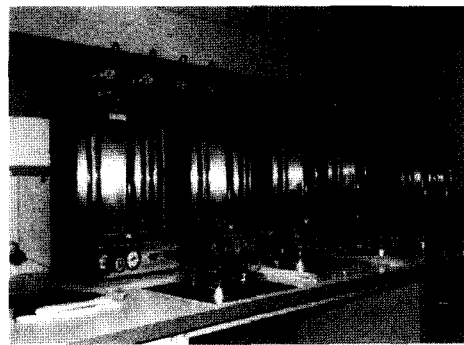


실제외관

[그림 3] 경계층제어형 소형테스트챔버 (일본 동경대학 생산기술연구소 보유)



[그림 4] FLEC Cell



[그림 5] FLEC Air Control

건재를 챔버내에 설치하지 않고 챔버본체를 건재표면에 설치하는 타입으로 현장측정에 적합한 챔버이다. 그 대표적인 것으로 덴마크 SBI(the danish national institute of occupational health)의 P. Wolkoff 박사가 고안한 FLEC(field and laboratory emission cell)가 있다. FLEC은 현재 유럽에서 건재로부터의 방출량 측정기준으로 되어 있다. FLEC Cell의 직경은 20cm, 챔버용적은 35cm³이다. 챔버내의 환기회수는 180~900회/h로 건재 표면풍속은 0.35~1.75cm/s로 제어된다. FLEC Air Control (FLEC Cell에 공기를 보내, 또 회수하기 위한 장치)에 의해 공급공기의 온도, 습도, 공기질이 제어된다.

• 대형챔버(Large Chamber)

위에서 설명한 소형챔버를 이용한 실험을 통해 얻어진 데이터를 실제스케일에 적용하는 경우 스케일의 차이로 인한 오차가 발생하기 쉽다. 일반적으로 실내에서는 환기량과 화학물질의 방출속도만으로 실내농도가 결정되는 것은 아니고, 화학변화, 흡착, 탈착등의 영향을 무시 할 수 없다. 따라서, 소형챔버에 의한 측정 뿐아니라 실제스케일, 즉 Large Chamber에 의한 측정도 불가피하다.

그림 6은 일본 동경대학 생산기술연구소 보유의 Large Chamber이다. 챔버는 모두 스텐레스(배관을 포함)로 되어있으며, 특히 챔버의 내표면은 전해연마처리하여 화학물질의 흡착을 최소화하도록 하였다. 환기방식은 바닥전면취출, 천정전면흡입으로 흡기측에 약품처리를 한 활성탄을 충전시킨 화학물질 제거흡착탑(chemical filter)을 설치하여, 화학물질을 제거한 공기를 공급하는 것이 가능하도록 하였다. 챔버내의 온/습도는 환기공기에 의해 제어가능하도록 설계였다. 시험종료후에는 50℃의 고온세정을 실시해, 챔버내의 흡착화학물질을 제거가능하도록 하였다.

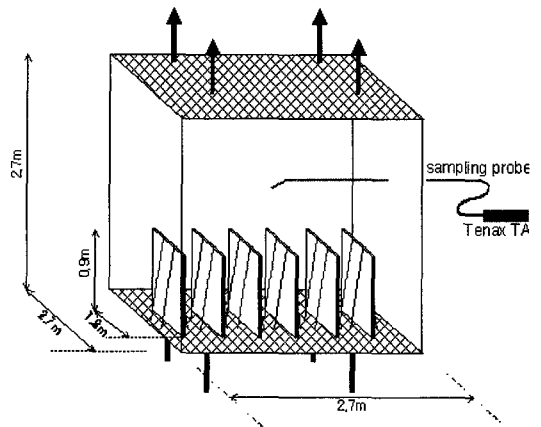
• 화학물질의 샘플링 방법

실내에서 검출되는 화학물질은 다양하여, 보통 실내환경 실측의 경우, 20에서 30 종류의 VOCs는 용이하게 검출되기 때문에 존재하는 모든 VOCs를 한번에 정확하게 측정/평가하는 것은 불가능하다고 할 수 있다. 따라서, 목적 및 측정대상으로 하는 VOCs

에 적합한 sampling법 및 평가법을 채용하는 것이 중요하다. 일반적으로 VOCs의 측정은, 1) 현장에서 측정치를 즉석에서 얻을 수 있는 농도계를 이용하는 방법, 2) 포집관 등에 sampling(포집)한 후에, 분석/평가하는 방법으로 나눌 수 있다. 1)의 방법은 간단하고 용이하기만 충분한 측정정밀도를 유지하는 것이 몹시 곤란하기 때문에, 본 고에서는 미량 화학물질도 검출가능한 방법 2)에 관해서 설명한다.

포집봉투(sampling bag) : 대기, 배기가스, 작업환경내의 공기의 채집봉투로 봉투로부터의 오염이나, 봉투에의 흡착이 적은 재질로 만들어지고 있다. 대표적인 포집봉투로는, 1) 테드라백 (Tedlar Bag), 2) 불소수지백 (Fluorine contained Resin Bag) 등을 들 수가 있다. 테드라백이란 불화비닐(PVF)제로 유기용제에 대해서 뛰어난 내성을 가지는 포집봉투로, 기계적강도도 뛰어나고 -70℃~110℃의 온도범위에서 사용가능하다. 불소수지봉투는 듀폰사의 상품명으로서 테플론백 (Teflon Bag)이라고도 하며, 폴리테트라플루오에틸렌을 원료로하여, 유기용제 및 산·염기에 대해서 테드라백 이상의 뛰어난 내성을 가진다. 또한, 내열특성에도 뛰어나 -200℃~110℃까지의 온도범위에서 이용 가능하다. 유기용제 증기의 흡착 및 투과성에 관해서도 테드라백보다 우수하다.

활성탄관(Active Carbon Tube, Active Charcoal



[그림 6] Large Chamber의 예 (일본 동경대학 생산 기술연구소 보유)



Tube) : 큰 비표면적과 흡착능력을 가지는 다공질의 탄소 물질이다. 노말 헥산등의 무극성 유기용제의 흡착에 주로 사용된다.

합성흡착제관(Tenax TA관): 2,6-Diphenyl-p-phenylene oxide 베이스의 약극성다공성폴리머비즈를 가는 유리관에 채운 것이다. EPA(미국 환경보호청)와 NIOSH(미국 국립노동안전위생연구소)에 의해 VOCs나 SVOCs를 포집하는 표준적인 방법으로 채택되어 있다. 알코올, 폴리에틸렌글리콜, 디올, 페놀, 아민, 알데히드, 케톤등의 고비등점극성화합물의 포집에 적절하다. 가열탈착시에 Tenax 기반으로부터는 벤조아르데히드등의 불순물이 방출되지만, 시판되고 있는 많은 제품은 불순물을 가능한 한 없애, 비교적 용이하게 사용할 수 있도록 되어 있다. 또한 짧은 시간내에 baseline의 안정성을 확보할 수 있다는 특징이 있다. Tenax TA 포집 관내에 흡착시킨 VOCs는 가열하여, 포집관으로부터 탈착(가열탈착)시켜, 콜드트랩(기화한 시료를 급냉시켜 컬럼의 끝에 시료를 농축시키는 것) 한 후에 GC로 도입/분석한다.

DNPH-HPLC법 : 시료가스를 DNPH/TEA 카트리지 (2,4- Dinitrophenylehydrazine/Triethanol amine)에 통과시켜 포름알데히드 등을 포집한 후, 아세트니트릴로 이탈시켜, HPLC(High Performance Liquid Chromatography)에 도입해, 정성·정량분석을 실시한다. 또, 시료공기중에 오존이 존재하는 경우에는 측정결과에 영향을 줄 가능성이 높기 때문에 DNPH 카트리지의 상류에 옥화칼륨을 충전한 오존 scrubber를 이용할 필요가 있다.

• 분석·정량법

포집된 VOCs는 여러가지 방법으로 분석되지만, 일반적으로는 흡광광도법을 이용하는 방법, GC(gas chromatography) 혹은 LC(liquid chromatography)를 이용하는 방법이 많이 이용되고 있다. 본 고에서는 크로마토그래피(chromatography)법을 중심으로 설명하고자 한다.

크로마토그래피(chromatography)법 : 크로마토그래피란, 대상으로 하는 시료에 관한 혼합물(포집물)을 통과시키는 고정상과 혼합물을 흐르게하는 이동상 간의 평형에 의한 상호작용 크기의 차이를 이용

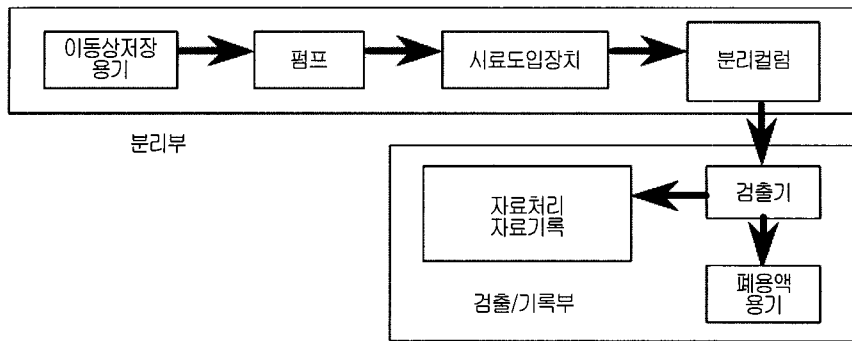
해, 다성분 혼합물로부터 개개의 성분을 분리/분석하는 방법이다. 각 성분의 2상간의 이동시간인 리텐션 타임(보관유지시간, R.T.)에 의해 분류를 한다. 이동상에 기체를 이용하는 방법을 가스크로마토그래피(GC), 액체를 이용하는 방법을 액상크로마토그래피(LC)라고 부른다. 특히 분리속도를 고속화한 LC를 HPLC(고속액상크로마토그래피)라고 부른다.

HPLC(고속액상크로마토그래피, high performance liquid chromatography) : LC는 흡착, 분배, 이온 교환 등 여러가지 기구에 의거하는 분리를 실시할 수가 있으므로 휘발성 물질 뿐만이 아니라 불휘발성물질의 분리도 가능하다. HPLC는 포름알데히드의 정량분석계로 주로 이용된다.

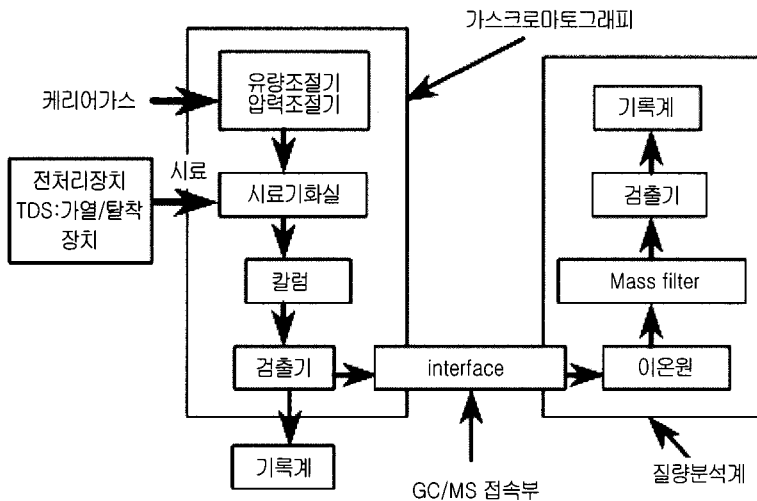
GC(가스크로마토그래피, Gas Chromatography) : GC는, 1952년 A.Martin와 A. James가 지방산의 상호 분리에 성공을 거둔 이래, 급속히 발전, 보급해, 현재는 700℃ 정도까지의 비점을 가지는, 열에 안정한 휘발성물질의 분리/분석법으로서 널리 이용되고 있다. 시료도입부에서 기화한 시료혼합물은 캐리어 가스에 의해 옮겨져 컬럼안에 들어온다. 이때 컬럼 중에서는 시료성분과 컬럼안의 고정상과의 상호작용(흡착, 분배)에 의해 각 성분의 검출기까지의 도달 시간에 차이가 생겨, 분리가 가능하게 된다. GC는 캐리어가스 제어부, 시료도입부, 컬럼오븐, 검출기 및 기록계로 구성된다. 캐리어가스에는 통상 헬륨, 질소, 수소등이 이용된다.

검출기 : 검출기에서는 도입된 캐리어 가스중에 시료성분증기의 농도 또는 질량에 비례한 전기신호를 내어 기록계에 기록된다. 이 도형을 크로마토그램이라고 한다. 크로마토그램은 각 성분에 대응한 피크를 가진다. 피크의 출현시간에 의해 정성 분석이, 면적에 의해 정량분석이 가능하다.

1) **수소염이온화검출기(FID : Flame Ionization Detector)** : 이온농도가 극히 작은 산소염에 유기물을 혼입함으로써, 이온 농도가 높아지는 현상을 응용한 것이다. 시료가스에 수소가스와 공기를 혼합/연소시켜, 화염의 상부에 2개의 전극을 두어 직류 전압(약 300V)을 걸쳐 두면, 화염중에 유기물이 들어옴에 따라 이온전류가 흐른다. 이 미량 전류를 검출한다. 화학종에 의해 FID에 대한 감도가 다르나, 거의 분자중의 탄소수에 비례한다.



[그림 7] HPLC의 구성



[그림 8] GC/MS의 구성

2) 질량 분석계(MS : Mass Spectrometry) : 전자총 또는 이온분자반응 등 적당한 방법으로 시료이온을 만들어, 전자기적인 방법으로 이온을 그 질량에 따라 분리/검출하는 방법이다. 생성하는 이온의 질량과 각 이온의 상대 강도가 화합물에 특성에 따라 다르므로, 그 특성으로부터 분자량 및 구조를 추정한다. 또 생성하는 이온량이 시료량에 비례하므로, 양을 측정할 수도 있다.

질 방출량에 대한 측정법은 이미 규격화되어 있는 상황이나 국내의 경우 아직 구체적인 측정법이 제시되고 있지 못한 실정이다. 실내공기질 개선을 위해서는 무엇보다도 건축자재 및 시공재로부터 발생하는 화학물질을 최소화하려는 노력이 중요하며, 조속한 시일 내에 국내에서도 그 기준이 정비되기를 기대한다.

결론

건축자재에서 발생하는 화학물질은 실내공기오염 및 화학물질중후군의 주요 원인으로 생각할 수 있다. 선진국의 경우 건축자재에서 발생하는 오염물

참고문헌

1. Bluysen, P. M., et al. : European database of indoor air pollution sources: the effect of temperature on the chemical and sensory emissions of indoor materials. TNO-Report



- 95-BBI- R0826, 1995.
2. Clausen, P. A. : Emission of Volatile and Semivolatile Organic Compounds from Waterborne Paints - the Effect of the Film Thickness. Proceedings of Indoor Air '93, Helsinki, Finland, Vol. 2, pp. 567-572, 1993
 3. Dunn, J. E. : Models and Statistical Methods for Gaseous Emission Testing of Finite Sources in Well- Mixed Chambers, Atmospheric Environment, Vol. 21, No. 2, pp. 425-430, 1987.
 4. Gunnarsen, L., Nielsen, P. A., and Wolkoff, P. : Design and Characterization of the CLIMPAQ, Chamber for Laboratory Investigations of Materials, Pollution and Air Quality, Indoor Air, Vol. 4, pp. 56-62, 1994.
 5. Hyver, K. J. and Sandra, P. : High Resolution Gas Chromatography, Third Edition, Hewlett-Packard Publication, No. 5950-3562, 1989.
 6. 日本分析化学會ガスクロマトグラフィー研究会編 : キャピラリーガスクロマトグラフィー, 朝倉書店, 1997.
 7. R. Meininghaus, H.N. Knudsen and L. Gunnarsen : Diffusion and sorption of volatile organic compounds in indoor surface materials, EPIC'98, Lyon, France, 19- 21 November, vol. 1, 33-38, 1998.
 8. Tichenor, B. A., and Guo, Z. : The effect of Ventilation on Emission Rates of Wood Finishing Materials. Environment International, Vol. 17, pp. 317-323, 1991.
 9. Tichenor, B. A., Guo, Z. and Sparks, L. E. : Fundamental Mass Transfer Model For Indoor Air Emission from Surface Coatings. Indoor Air, Vol. 3, pp. 263-268, 1993.
 10. Zhang. Y. and Haghghat, F. : A Small Velocity Controlled Test Chamber for Emission Studies, Characterizing Sources of Indoor Air Pollution and Related Sick Effect, ASTM STP 1287, Brue A, pp 23-33, 1996.
 11. Zhang. Y. and Haghghat, F. : The impact of Surface Air Movement on Material Emissions, Building and Environment, Vol. 32, No. 6, pp. 551-556, 1997. 