



실내공기질 관리를 위한 친환경 건축자재 인증제도

윤 동 원 / 건물환기·방재 전문위원장

경원대학교 건축설비학과(dwyoona@kyungwon.ac.kr)

서론

현대인들은 하루 중 80% 이상을 건물내에서 생활하고 있음을 고려할 때, 쾌적하고 건강한 실내공기질의 확보는 매우 중요하다. 건축물 부분에서는 그동안 에너지절약 설계 및 시공에 따른 건물 기밀화와 단열 강화에 따른 환기부족 등으로 실내 공기관리여건은 점점 더 악화되고 있다. 더욱이 최근 각종 건축자재로부터 발생하는 가스 및 유해물질들은 인체에 매우 유해하지만 거주자의 쾌적성과 건강에 심각한 영향을 주고 있다는 것을 대부분 인식하지 못하고 있다. 특히 신축건물에서 원인을 알지 못하는 건물병 증후군이 나타나는데, 이는 상대적으로 환기량이 부족한 한정된 실내공간에서 각종 건축자재 등에서 발생하는 오염물질이 정체되면서 그 농도가 증가하여 원인을 제공하고 있다. 많은 사람들이 밀폐된 건물 내에서 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감소 등을 호소하는 빌딩증후군(sick building syndrome)현상은 재실자의 건강을 크게 위협하고, 생산성과 능률의 저하를 초래하고 있는 실정이다.

세계적으로 관심이 고조되는 환경인증제도와 더불어 건축자재의 환경친화성에 대한 요구가 증가하고 있다. 영국, 미국, 캐나다 등의 구미선진국과 일본 등에서는 건물의 인증제도의 성공적인 시행과 관련하여 실내의 마감재료의 오염물질 방출특성과 이에 따른 천연자재, 무독성 건축재료의 개발을 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 유럽공동체와 핀란

드에서는 건축자재의 오염물질 방출강도의 특성을 활용하여 실내 환경, 마감재료에 대한 분류규정을 제정하여 설계지침으로 활용하고 있다. 이러한 추세로 볼 때 앞으로는 건축자재에 대한 오염물질의 방출특성이 매우 중요한 사항으로 부각될 것이며, 무공해(non-toxic) 건축자재의 활용이 확대되고 건축계획 및 시공과정에서의 건축자재선정의 기준으로 활용될 것으로 판단된다.

우리나라는 그동안 기존 건축자재에 대한 오염물질 방출농도에 대한 인식이 미흡한 실정이며, 건축자재 생산업체의 무관심으로 저독성의 새로운 건축자재에 대한 개발이 미흡한 상태이다. 쾌적하고 건강한 실내 환경의 창출과 오염물질 방출이 낮은 건축자재를 개발하기 위한 기술의 정립과 오염물질을 효과적으로 제어할 수 있는 방법이 정립되어야 하며, 건축자재의 오염물질에 대한 성능 평가기법을 확립하고 오염물질의 방출 특성을 측정 평가하는 것이 매우 시급한 실정이다. 이는 건축자재 분야의 신소재 개발을 유도하고 무공해 건축자재의 개발을 촉진시키며, 국산 건축자재의 국제경쟁력을 확보할 수 있는 방안이라 할 수 있다.

실내 공기환경과 화학물질

실내 화학물질(VOCs, HCHO)의 고찰

(1) 휘발성유기화합물질(VOCs)

휘발성유기화합물은 물질이 존재 상(phase)의 형태

에 따라서 휘발성(volatile), 반휘발성(semi-volatile), 비휘발성(non-volatile)으로 구분하고, 증기압이 10^{-2} kPa 이상을 휘발성(VOCs), $10^{-2} \sim 10^{-8}$ kPa을 반휘발성(SVOCs), 10^{-8} kPa 이하를 비휘발성(NVOCs)으로 분류한다. 세계보건기구(WHO)에서는 표 1과 같이 VOCs를 비등점에 따라 구분하며, 비등점이 0~(50~100℃)의 경우 고휘발성(VVOCs), (50~100℃)~(240~260℃)를 휘발성(VOCs), (240~260℃)~(380~400℃)를 반휘발성(SVOCs), 380℃ 이상을 고체상태(POM : particle-bound organic compounds)로 분류하고 탄화수소류중 레이드 증기압(reid vapor pressure : RVP)이 10.3 kPa(1.5psia) 이상인 석유화학제품, 유기용제 또는 기타 물질로 정의되고 있다.

(2) 총 VOC

건물의 생활공간인 실내에서는 매우 많은 종류의 화학물질의 종류가 검출되고 있다. 미국의 EPA에서는 학교건물의 실내에서 150여 종의 VOCs가 측정되었고 사무소 건물의 경우에는 600여 종류의 VOCs가 측정된 것으로 보고하고 있다. 다양한 종류의 VOCs 물질에 대하여 종류별로 정량/정성적으로 위해성이나 기준농도 등을 제시하고 각각의 특성을 개별적 파악하기는 매우 어려운 실정이며, 각각의 측정, 분석, 평가도 쉽지 않은 상황이다. 더욱이 VOCs물질들은 상호작용에 의하여 제 3의 위해성이 나타날 수 있는 특성을 지니게 되어 각각의 물질에 의한 특성이 파악된다하여도 이에 따른 MCS(multiple chemical sensitivity) 영향 등을 파악하기가 곤란한 점이 있다. 따라서 선진국에서는 VOCs에 대한 특성을 분석 평가할 경우에 위해성이 큰 물질별 제한을 하는 경우

도 있지만 측정평가에 많은 노력과 비용이 소요되고 또한 그 결과에는 VOCs물질별 상호 상가 작용 등의 특성을 평가하기 곤란한 점을 착안하여 복합화합물 질로서 여러 가지 종류의 VOCs 농도의 총합을 총 VOC (TVOC : total volatile organic compounds)로 정의하여 기준의 설정에 활용하고 있다.

총 VOC의 농도를 측정하는 방법에는 여러 방법이 있으나 일반적으로 측정된 가스크로마토 그래프에 의하여 n-헥산에서 n-헥사데칸까지의 범위에서 검출되는 VOCs를 대상으로 이들 농도를 합산한 값으로 산출한다. 이는 주로 28가지 종류의 각각의 물질에 대한 농도에 의하여 산출하고, 동정불가능한 화합물은 이들 농도를 톨루엔으로 환산하여 총 VOC농도를 산출한다. 따라서, 총 VOC는 포집된 공기 중의 VOCs 농도의 합계에 가장 가까운 값으로 표시된다.

건축자재와 화학물질 방출

건축공사에는 많은 종류의 내장재료가 사용되며, 소재산업의 기술발달과 더불어 합성재료의 사용이 급격히 증가하고 있다. 합성재료에는 다량의 휘발성 유기화학물질(VOCs)을 함유하고 있어 이들이 실내 공기 중으로 방출되고 있다. 특히 주거용 건물은 동일한 바닥면적을 기준으로 할 때 다른 건물에 비하여 벽체의 내장재료의 사용 면적이 증가하여 휘발성 유기화학물질(VOCs)의 방출 면적도 증가할 수 있다. 따라서 주거용 건물에 사용되는 주요 내장 재료의 오염물질 방출 특성과 실내공기 오염 정도를 파악하고 이에 대한 제어대책을 마련하여야 한다.

주요 건축자재에 대한 VOCs의 방출강도를 평가하고, 적절한 내장재료의 선정을 위한 기초자료를 도

<표 1> 공기중의 유기화학물질의 분류(WHO)

구 분	약 칭	비등점의 범위	포집방법(sampling method)
고휘발성 유기화학물질 very volatile organic compounds	VVOC	< 0℃ ~ 50-100℃	Batch Sampling, 활성탄에 흡착
휘발성 유기화학물질 volatile organic compounds	VOC	50-100℃ ~ 240-260℃	고형 흡착제에 흡착
반휘발성 유기화학물질 semi-volatile organic compounds	SVOC	240-260℃ ~ 380-400℃	폴리우레탄 폼에 흡착 또는 XAD-2 수지에 흡착
고형상태의 유기화학물질 particle-bound organic compounds	POM	> 380℃	필터로 포집

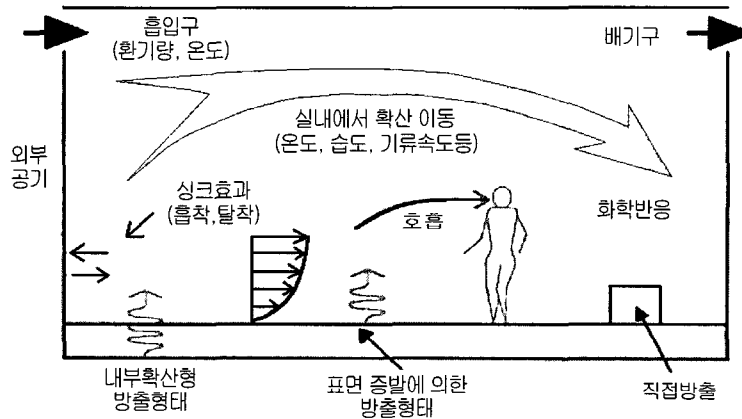


출하여 건축자재로부터 방출되는 VOCs 물질의 정량적 평가와 제어 대책이 확립되어야 한다.

건축 구조재와 내장재료의 선정에는 근본적으로 그 재료에 포함되어 있는 오염물질의 종류와 방출강도를 평가하여 주택 내부의 실내 공기질(IAQ: indoor air quality)의 향상을 위하여 적절한 재료를 선정하는 것이 중요하다. 따라서 건축자재의 선정은

물리적인 성능 뿐 만 아니라 화학적 성능을 고려하여 건축재료가 선정되어야 하며, 특히 마감재료로부터 방출되는 화학물질의 성분과 방출기간 등에 관한 기초적인 자료를 마련하여 실내 공기환경에의 영향을 고려한 쾌적한 건물의 설계 및 유지관리 방안이 요구된다.

일반적으로 마감재료의 화학물질 방출 강도는 온



[그림 1] 실내 환경과 화학물질 오염인자의 방출

<표 2> 주요 VOCs 물질과 포름알데히드 발생원인과 인체에 미치는 영향

오염물질	주요발생원	인체에 미치는 영향	
VOCs	Benzene	연기, 세척 및 청소용품, 페인트, 접착제, 파키글보오드	골수손상, 혈소판 감소증, 백혈구 감소증, 빈혈증
	Toluene	페인트, 접착제, 난방기구, 카펫트, 단열재, 왁스, 코킹제 등	간 혈액, 신경 등에 독성 피로감, 정신착란: 가장 독성 강함
	Xylene	페인트, 접착제, 난방기구, 카펫트, 코킹제, 염료착색제	신경계에 대한 독성이 아주 강함
	Ethyl benzene	가구광택제, 페인트, 바닥왁스, 전기용품 등	신경계에 대한 독성 강함
	펜타클로로벤젠	목재방부제, 곰팡이 제거제, 종약	정서불안, 신경착란, 피로감
	디클로로벤젠	방향제, 곰팡이 제거제, 종약	어지럼증, 신경계 손상, 피로감
포름알데히드	목재방부제, 화장품, 가구, 합판, 단열재, 접착제	어지럼증, 신경계 손상, 피로감, 발암	

<표 3> 건축 공사의 항목별 주요재료

공사 항목	주요재료	공사 항목	주요재료
구조재료, 외부마감재	RC조, PC등 구조체, 경량기포Conc.(ALC), 목재 보존재, 코킹제, 실런트, 유리창틀, 퍼티, 가스켓	내장공사, 마감재료	바닥구조, 바닥재료, 카펫트 및 접착제, 비닐계 바닥재, 텍스타일, 합판류(파티클 보오드, 칩보오드, 하드보오드 등)
단열재	단열재, 내화 피복재 음향 재료	간막이벽	마감벽지나 직물류, 접착제, 페인트, 목재보존재, 패널류, 합판류
냉난방설비	파이프, 덕트 보온재, 덕트 실런트, 냉각수 첨가제, 냉매	천장 재료	실링타일, 판넬

<표 4> 주요 건축자재와 방출오염물질

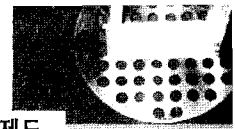
	건축자재	오염원	방출오염물질
단열 자재	1. 섬유상 단열재 (유리면, 암면)	접착용 수지, 섬유상 물질	aldehydes, ketones, solvents
	2. 폴리우레탄단열재	전처리물질, 아민, 발포제(CFC)	FCs(chlorofluoro-hydrocarbons)
	3. 스티로폼 단열재	발포제(예, pentane), 스티렌잔유물	
내부 마감 자재	1. 수용성락커, 라텍스	경화제, 솔벤트	texanol, glycols, glycolethers
	2. 유성페인트, 락커	솔벤트, Monomers	solvents
	3. 카펫 - 부직포	솔벤트, 첨가제 및 보조제, 부직포 처리용 수지	formaldehyde(HCHO)
	4. 소나무 목판	목재 추출물	pentanal, hexane pinene, camphene, 3-carene, HCHO etc. (34 components identified)
	5. 조각목 바닥재	목재 추출물, 락커, 접착제, 아교	HCHO, solvents, terpenes, aldehyde (12 components identified)
	6. 리놀륨 바닥재	지방산,	fatty acids, toluene, 3-methylpentanes (16 components identified)
	7. 코르크 타일	목재 추출물, 합성수지산	1,2-propandiol, 4-methyldioxalan, HCHO, 2,2,4,6-pentamethyl-heptane (25 components identified)
	8. PVC 바닥재료	경화제, 보조제, 솔벤트	TXIB(2,2,4-triethyl-1), 2-ethyl-1-hexanol, aromatic and aliphatic hydrocarbons, phenol(17 - 58 components identified)
	9. 고무 바닥재	항산화제, 경화제, 보조제	styrene, isododecene
코킹, 실린드 자재	1. 실리콘 코킹제	시공시의 아세트산	acetic acid
	2. 아크릴 코킹제	솔벤트	solvents,
	3. 폴리우레탄	경화제, 솔벤트	solvents
	4. 폴리에스테르, 중합 합성콘크리트	폴리에스테르 수지, 스티렌	styrene residue, phtalic acid
기타 건축 자재	1. Chipboard	우레아 포름알데히드 수지	HCHO
	2. 접착제, 아교	solvents	2-ethyl-1-hexanol

도와 습도에 의하여 많은 영향을 받는 것으로 파악되고 있다. 그림 1과 표 2~4는 화학물질을 방출하는 주요 건축자재의 종류와 방출 특성, 화학물질의 종류를 나타낸 것이다.

실내 공기오염 및 VOCs 관리기준

실내공기오염은 다양한 형태의 실내공간에서 공기가 오염된 상태를 말하며, 실내오염은 매우 다양하고 복합적인 원인에 의해 발생된다. 일반적으로 사람들은 하루 중 80% 이상을 가정, 사무실, 작업장, 공공건물, 상가, 음식점, 자동차, 지하철 등의 실내공간에서 생활하고 있기 때문에 실내공기질의 악화는 거주자들의 건강에 많은 영향을 주고 있다. 실내오

염의 원인으로는 오염된 외부공기의 실내유입, 복합 화학물질로 만들어진 단열재, 내화재 등의 건축자재와 공기정화제, 가습기, 플라스틱제품, 각종 살포제 등의 생활용품, 흡연에 의한 인간의 활동, 에너지의 절감과 고효율을 위한 건물의 밀폐화에 따른 환기량의 부족 등이 있으며, 실내공간의 공기질을 오염시키는 주요물질로는 미세먼지, 연소가스(CO, NO₂, SO₂), 포름알데히드, 석면, 라돈, 중금속, 담배연기, 미생물성 물질, 휘발성유기화합물 등이 있다. 이러한 실내공기 오염물질은 코와 눈의 자극에 의한 호흡기 질환과 알레르기성 질환 등을 유발시키며 발암성을 나타내기도 한다. 빌딩증후군(SBS-sick building syndrome)은 실내오염의 대표적인 증상으로 주로 건축자재, 가구, 접착제, 카펫, 흡연 및 연



료의 연소에 의해 발생되며, 점막자극, 두통, 구역질 및 현기증과 같은 증상을 일으키는 등 채실자들의 건강상에 매우 큰 영향을 준 것으로 알려져 있다.

이러한 사건들은 국내를 비롯하여 외국 여러 선진국 가들에게 실내오염에 대한 관심을 부각시키는 계기를 가져다 주었다. 이처럼 실내공기질의 중요성이 대두되면서 외국의 경우 1970년대초 미국의 환경보호청(EPA)를 비롯하여 캐나다, 일본, 유럽국가 등에서 실내공기질(IAQ)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 캐나다와 영국을 비롯한 선진국에서는 일부건물을 대상으로 쾌적한 실내 공기질을 유지하기 위해 실내환경 인증제도를 도입하는 방안을 고려하고 있으며, 여러 국가에서 실내환경 인증제도를 시행하고 있다.

선진국의 실내공기중 VOCs의 관리기준

선진국에서는 1970년대이후 에너지절감에 따라 단열재와 같은 건축자재가 사용되었고 건물의 밀폐화가 진행되었다. 이로인해 다양한 오염물질들이 실내공기로 방출되었으며, 실내오염의 대표적인 증상인 빌딩증후군(SBS)등이 발생되면서 실내오염에 대한 문제가 사회적인 관심사로 증대되었다. 이러한 이유로 1980년 이전에 구미각국과 일본 등에서는 실내공기질을 하나의 새로운 환경문제로 인식하고 실내오염에 대해 연구가 활발히 진행되고 있었다. (표 6, 7)

외국의 건축자재 품질인증 제도

유럽공동체(EC)와 핀란드에서는 건축자재의 오염

<표 5> VOCs의 기준(WHO)

VOC의 종류	농도(mg/m ³)
알칸	0.1
방향족탄화수소	0.05
텔펜	0.03
하이드로카본	0.03
에스텔	0.02
알데히드·케톤	0.02
기타	0.05
합계(총 VOC)	0.3

발암성, 냄새 등을 유발하는 유해 오염물질의 기준(WHO Guideline)

Substance	Time-weighted average	Averaging time	Substance	Time-weighted average	Averaging time
Cadmium	5ng/m ³	annual	Mercury	1μg/m ³	annual
Carbon disulfide	100μg/m ³	24hours	Nitrogen dioxide	200μg/m ³	1hour
Carbon monoxide	100mg/m ³	15minutes		40μg/m ³	annual
	60mg/m ³	30minutes	Ozone	120μg/m ³	8hours
	30mg/m ³	1hour	Particulate matter	Dose-response	-
	10mg/m ³	8hours	Styrene	0.26mg/m ³	1week
1,2-Dichloroethane	0.7mg/m ³	24hours	Sulfur dioxide	500μg/m ³	10minutes
Dichloroethane	3mg/m ³	24hours		125μg/m ³	24hours
	0.45mg/m ³	1week		50μg/m ³	annual
Formaldehyde	0.1mg/m ³	30minutes	Tetrachloroethylene	0.25mg/m ³	annual
Hydrogen sulfide	150μg/m ³	24hours	Toluene	0.26mg/m ³	1week
Lead	0.5μg/m ³	annual	Vanadium	1μg/m ³	24hours
Manganese	0.15μg/m ³	annual			

물질 방출강도의 특성을 활용하여 실내환경, 마감재
료에 대한 분류규정을 제정하여 설계지침으로 활용
하고 있다. 이러한 추세에 의해 앞으로는 건축자재
에 대한 오염물질의 방출특성이 매우 중요한 사항으
로 부각될 것이며, 무공해(non-toxic) 건축자재의 활
용이 확대되고 건축계획 및 시공과정에서의 건축자

재선정의 기준으로 활용하고 있다.

(1) SCANVAC(스칸디나비아 국가)

스웨덴, 노르웨이, 핀란드, 덴마크의 연합체로 구성
한 HVAC, 에너지, 건축환경, 의학 등을 전문으로 하
는 학회인 SCANVAC에서는 휘발성 유기화합물질에

<표 6> 포름알데히드(HCHO)에 대한 주요국가의 기준

국가·기관	기준농도(ppm)	국가·기관	기준농도(ppm)
노르웨이	< 0.05	미국	0.1(EPA), 0.4(연방정부)
WHO	< 0.08	이태리	0.1
일본후생성	0.08	스웨덴	0.11, 최저농도0.17
오스트리아	0.08	덴마크	0.13
캐나다	0.10(현재), 0.05(자기목표치)	핀란드	0.13(1981년 이후건물) 0.25(1981년 이전건물)
호주	0.10	스위스	0.2
독일	0.10	스페인	0.4

<표 7> 실내환경의 화학물질 기준(일본, 후생성)

화학물질	Reference	기준농도	제정연도
Formaldehyde	Irritation of mucous membranes of eyes, nose & upper respiratory tract	100 µg/m³	1997
Toluene	Reversible effects upon liver, renal, nervous systems and reproduction	260 µg/m³	2000
Xylene	Effects on liver and kidney of pregnancy rats	870 µg/m³	2000
p-dichlorobenzene	Effects on liver and kidney of beagle hounds	240 µg/m³	2000
Ethylbenzene	Effects on liver, kidney, nervous systems of mouse and rats	3,800 µg/m³	2000
Styrene	Effects on brain, nervous systems and liver of rats	230 µg/m³	2000
Chlorpyrifos	Effects on nervous system of infant rats in exposure of pregnant female rats, morphological influence on infant rats of brain	1 µg/m³ (Infant 0.1 µg/m³)	2000
DBP	Influence on genital organ structural malfunction of infant rats in female rats	220 µg/m³	2000
Tetradecane	Effects on liver by oral exposure in rats	330 µg/m³	2001
DOP	Effects on testis by oral administering in male rats	120 µg/m³	2001
Diazinon	Effects on red blood corpuscle colineesterase revitalization in rat's inhalation	0.29 µg/m³	2001
Nonanal	Toxic academic influence by oral exposure of rat	41 µg/m³	2001
Acetaldehyde	Effects in rats on nasal cavity sense of smell cuticle	48 µg/m³	2001



의한 실내 공기환경의 규정을 포름알데히드와 총 VOC(total volatile compounds)의 농도에 의하여 3단계(AQ1, AQ2, AQX)로 구분하여 제시하고 있다. 단, AQ는 air quality의 약칭이다. 또한 건축재료로 부터의 오염물질 방출강도에 따라 건축재료를 3단계로 분류하고 있다. 3단계의 분류는 각각 MEC-A (low-emission building materials), MEC-B(moderately emitting building materials), MEC-C(heavily emitting building materials)로 규정하고 있다. 여기서 MEC는 Material Emission Class의 약칭이다.(표 8, 9)

<표 8> 실내 공기환경의 분류(SCANVAC)

구분	노출 시간	최대 허용농도(mg/m ³)		
		AQ 1	AQ 2	AQ X
총 VOC	0.5 h	0.2	0.5	*
HCHO	0.5 h	0.05	0.1	*

단, *는 필요에 따라 별도로 정함.

<표 9> 건축재료의 분류(SCANVAC)

방출강도의 분류	최대 방출강도(20℃, RH 50%)
MEC-A	40 µg/m ³ (m ³ h)
MEC-B	100 µg/m ³ (m ³ h)
MEC-C	450 µg/m ³ (m ³ h)

(2) 핀란드의 내장재료의 분류(표 10, 11)

(3) 독일

독일은 소비자들로 하여금 환경친화적 상품을 구매하도록 할 목적으로 1997년 독일 접착제 생산업체들이 GEV(gemeinschaft rmissionskontrollierte verlege- werkstoffe)라는 비영리 단체를 만들어 환경라벨링을 실시하고 있으며 현재 유럽 5개국, 30개 업체가 참가하여 400여 제품에 대해 EMICODE 등급(2000년 기준)을 부여하고 있다.(표 12)

<표 10> Classification of Indoor Climate 2000(핀란드 인증)

항목	단위	등급 기준		
		S1	S2	S3
라돈	Bq/m ³	100	100	200
이산화탄소 (CO2)	ppm	700	900	1200
암모니아, 아민 (NH3)	µg/m ³	30	30	40
포름알데히드 (HCHO)	µg/m ³	30	50	100
VOCs (TVOC)	µg/m ³	200	300	600
일산화탄소 (CO)	mg/m ³	2	3	8
오존 (O3)	µg/m ³	20	50	80
냄새		3	4	5.5
분진 (PM10)	µg/m ³	20	40	50

<표 11> 핀란드의 건축실내 마감재료의 분류체계(FiSIAQ & SAFA, 1995, 2000) Joint CIB-ISIAQ TG42, 2002
- 건자재 오염물질 방출 등급 인증 제도 (M1 Classification)

· 핀란드 건설정보센터(RTS)에서 주관

구분	M1	M2	M3
VOCs	0.2mg/(m ³ h)	0.4mg/(m ³ h)	M2에서 정의한 범위를 넘는 물질
포름알데히드	0.05mg/(m ³ h)	0.125mg/(m ³ h)	
암모니아	0.03mg/(m ³ h)	0.06mg/(m ³ h)	
발암성 물질	0.005mg/(m ³ h)	0.005mg/(m ³ h)	
냄새	무취성의 재료 (냄새에 대한 불만족도 15%이하)	강한 냄새가 나지 않는 재료(냄새에 대한 불만족도 30%이하)	
기타	플라스터 등에는 카세인이 포함되지않아야 함		
대상자재	바닥재, 페인트, 니스, 보드류, 광물섬유, 플라스터, 첨가제 등		

<표 12> 독일 건축자재(실내공기환경 인증기준)

등급	방출량 범위	총 VOC (프라이머)	총 VOC (모르타르)	총 VOC (접착제 등)
EMICODE EC1	매우 낮음	100 µg/m ³ 이하	200µg/m ³ 이하	500 µg/m ³ 이하
EMICODE EC2	낮음	100 ~ 300 µg/m ³	200 ~ 600 µg/m ³	500 ~ 1500 µg/m ³
EMICODE EC3	다소 높음	300 µg/m ³ 이상	600 µg/m ³ 이상	1500µg/m ³ 이상

1) 독일정부의 Blue Angel

UBA(federal environmental agency)와 BAM(federal institute for materials)이 공동으로 목재품에 대한 Eco-Label(RAL-UZ38 rev)을 만들었다. 포름알데히드(0.1ppm) 및 VOCs(<250g/L : 액상 자재, <300 μ g/m³ : 일반 자재) 등 실내공기환경과 관련된 오염물질 인증 기준 뿐 만 아니라 제품 포장, 재생 원료 사용률, 사후 처리 등도 인증기준에 포함되어 있다.

- EMICODE

- 독일 집착제 제조자들로 구성된 비영리 단체인 GEV가 주관
- 챔버법에 의해 10일 이후 측정값으로 판정

구분	TVOC 농도 (μ g/m ³)		
	EC 1	EC 2	EC 3
접착제	500	1500	발암물질만 함유 하지 않은 경우
프라이머	100	300	
충진제	200	600	

- Blue Angel

- 독일 환경부에서 주관
- 88개 생활용품에 대해 환경에 유해한 정도, 재활용성, 인체 유해성, 폐기물활용 등을 평가하여 친환경 마크 부여
- 접착제, 페인트, 벽지 등의 건자재를 포함

- RAL-UZ38

- Blue Angel의 일환으로 환경부와 연방재료연구소가 제정
- 챔버법에 의해 일정시간 경과 후 공기농도로 판정

구분	평면형상의 제품 (도어, 판넬, 적층 플로어링, 목재바닥)		입방형상의 제품 (가구 등)	
	초기값 24시간 후	최종값 28일 후	초기값 24시간 후	최종값 28일 후
포름알데히드	-	0.05ppm	-	0.05ppm
VOCs	-	300 μ g/m ³	-	600 μ g/m ³
SVOCs	-	100 μ g/m ³	-	100 μ g/m ³
발암물질	1 μ g/m ³ 미만	1 μ g/m ³ 미만	1 μ g/m ³ 미만	1 μ g/m ³ 미만

(4) 미국

- 카펫 인증 프로그램 (시험방법 : ASTM D5116)
- 카펫과 피혁협회(CRI : carpet and rug institute) 주관

구분	성분	기준 (mg/m ³ h)
카펫	TVOC	0.5
	Styrene	0.4
	4-phenylcyclohexene	0.05
	Formaldehyde	0.05
접착제	TVOC	10
	Formaldehyde	0.05
	2-Ethyl-1-Hexanol	3

- 포름알데히드 인증 프로그램

- 주택도시개발부(HUD)와 합판협회(HPVA) 주관

구분	기준	Loading Factor (ft ² /ft ³)
벽용 합판	0.2ppm	0.29
파티클보드, 산업용 합판	0.3ppm	0.13

- 파티클 협회(national particleboard association) 주관

구분	표준	기준	Loading Factor(ft ² /ft ³)
산업용 파티클보드	ANSI A208.1	0.3ppm	0.13
바닥용 파티클보드	ANSI A208.1	0.2ppm	0.13
데크용 파티클보드	HUD	0.3ppm	0.13
MDF	ANSI A208.2	0.3ppm	0.08

- Green Guard

- 비영리 단체에 의해 운영되는 친환경 기구 및 건자재 인증 프로그램
- ASTM D5116에 의한 시험방법으로 96시간째의 농도로 판정



구분	성분	기준
접착제 일반건축재	TVOCs	0.50mg/m ³
	Formaldehyde	0.05ppm
	Total aldehydes	0.1ppm
바닥재	4-phenylcyclohexene	0.0065mg/m ³
	Styrene	0.70mg/m ³
기정용 기구	TVOCs	0.50mg/m ³
	Formaldehyde	0.05ppm
	Total aldehydes	0.1ppm
천정재 단열재	TVOCs	0.50mg/m ³
	Formaldehyde	0.05ppm
	Total aldehydes	0.1ppm
사무가구 (의자, 데스크, 테이블 등)	분진	0.05mg/m ³
	TVOCs	0.25mg/m ³
	Formaldehyde	0.025ppm
	Total aldehydes	0.05ppm
페인트	4-phenylcyclohexene	0.00325mg/m ³
	TVOCs	0.50mg/m ³
	Formaldehyde	0.05ppm
	Total aldehydes	0.1ppm
벽지 직물 가구(워크스테이션)	Styrene	0.070mg/m ³
	TVOCs	0.50mg/m ³
	Formaldehyde	0.05ppm
	Total aldehydes	0.1ppm
	4-phenylcyclohexene	0.0065mg/m ³

(5) 캐나다

- Environmental ChoiceM Program (<http://www.terrachoice.ca/>)
- 캐나다 환경부에서 1988년 실시
- 29개 생활용품에 대해 환경에 유해한 정도, 재활용성, 인체 유해성, 폐기물활용 등을 평가하여 친환경 마크 부여
- 칩착제, 페인트, 카펫 등의 건자재 포함
- 용도별로 VOCs 함유량 및 독성물질 기준 지정

종류	성분	기준	비고
페인트	VOCs 함량	200g/L 이하	
카펫	TVOC	0.25mg/m ³ h	24시간 이후
	포름알데히드	0.02mg/m ³ h	48시간 이후
카펫접착제	TVOC	0.05mg/m ³ h	72시간 이후
	포름알데히드	0.02mg/m ³ h	72시간 이후

(6) 일본

일본에서도 최근 SBS(sick building syndrom)가 사회 이슈화되어 건설성을 비롯하여 후생성, 농림성 등 정부기관에서 실내공기환경 오염에 관한 지침을 제정하였으며 건설성에서는 2000년 6월 주택품질확보 촉진법을 고시하고 실내공기환경에 대한 성능평가 기준을 마련하여 파티클 보오드, 합판, 목재집성판, 복합바닥재에서 방출되는 포름알데히드량에 따라 각각 3등급으로 구분하여 평가·인증을 하고 있다.

또한 농림성에서는 일본의 합판공업조합과 함께 JAS(일본농림규격)을 제정하여 오염물질 방출량에 따라 3등급으로 분류하여 제품에 대한 labelling을 실시하고 있다.

- JIS (일본공업규격)
- 경제산업성, 일본공업규격협회 주관
- 2003년 3월 20일 개정 (대상 자재 확대 및 강화, 방산속도 개념 적용)

등급	방산속도(μg/(m ³ h))	비고	시험 방법
F☆☆☆☆	5 이하	건축기준법상 제한 없음	JIS A 1901
F☆☆☆	20 이하	건축기준법상 면적 제한	
F☆☆	120 이하		
등급외	120 초과	건축기준법상 사용 금지	

적용 자재: 접착제류 6종 (마루 마무리재용 접착제, 나무 블록용 접착제, 벽·천정 보드용 접착제, 발포 플라스틱 보온판용 접착제, 조각용 접착제, 마루 응용 접착제) 단열재류 3종 (인조 광물 섬유 보온재, 주택용 인조 광물 섬유 단열재, 취입용 섬유단열재)

등급	방산량(mg/L)	비고	시험방법
F☆☆☆☆	0.12 이하	건축기준법상 제한 없음	JIS K 5601-4-1
F☆☆☆	0.35 이하	건축기준법상 면적 제한	
F☆☆	1.8 이하		
등급외	1.8 초과	건축기준법상 사용 금지	

적용 자재: 도료류 11종 (알루미늄 페인트, 유성 조합 페인트, 합성 수지 조합 페인트, 프탈산 수지 바니시, 프탈산 수지 에나멜, 유성계 기초 도료, 일반용 방수제 페인트, 다채 모양 도료, 가정용 옥내옥상도료, 가정용 목부 금속부 도료, 건물용 마루 도료)
* F☆☆☆☆등급만 규정하고 있는 자재
도료류 16종 (셀락 니스류(셀락 니스·흰색 셀락 니스), 니트로셀룰로스 래커, 래커계 실러, 래커계 기초 도료, 영화 비닐 수지 바니시, 영화 비닐 수지 에나멜, 영화 비닐 수지 프라이머, 아크릴 수지 바니시, 아크릴 수지 에나멜, 건축용 폴리우레탄 수지 도료, 광택 합성 수지 에멀전 페인트, 합성 수지 에멀전 페인트 및 실러, 합성 수지 에멀전 모양 도료, 합성 수지 에멀전 파데, 아크릴 수지계 비수분산형 도료, 가정용 옥내벽 도료)

(7) 우리나라의 환경라벨링제도

건축자재(실내공기질)와 관련하여 시행한 환경라벨링은 제 1 유형에 속하는 환경표시제로 전체 49개 대상제품 중 건축자재(실내공기질) 관련 제품은 목재성형제품, 사무용 목제 책상 및 테이블, 유성페인트, 수성페인트에 대하여 시행. 2001년 부터 국제표준화기구에서 추진중에 있는 3가지 유형의 환경라벨링 국제표준화 규격(ISO 14020s) 중 제 3 유형인 「환경성적표시규격」 제도 도입

- KS(한국공업규격)

건 재	등급	포름알데히드 방산량(mg/l)	
		평균	최대
합판 (KS F 3101) 기타 합판류	F1	0.5	0.7
	F2	5	7
	F3	10	12
파티클보드 (KS F 3104) 섬유판 (KS F 3200) 치장 목질 플로어링보드 (KS F 3126)	E0	0.5	
	E1	1.5	
	E2	5	
무늬목 치장합판 플로어링 보드(KS F 3111)	일반용	10	12
	온돌용	5	7
벽지 (KS M 7305)	-	2	
벽지용 전분계접착제 (KS F 3217)	-	5	

- 친환경 건물 인증 제도
 - 환경부와 건설교통부에서 시행하고 주택공사에서 인증
 - 유해물질 저방출 자재 사용에 따른 가점 부여
- 환경마크
 - 환경부와 환경마크 협회에서 주관
 - 일부 건자재 등 생활용품에 대해 환경에 유해한 정도, 재활용성, 인체 유해성, 폐기물활용 등을 평가하여 친환경 마크 부여

친환경 건축자재 인증방안

건축자재의 화학물질농도 측정법의 종류

실내 공기중의 화학물질의 측정법을 현장에서 측정하는 방법이 있으나 이는 간이방식으로 미량의 화학물질 농도를 정확히 측정하기는 매우 곤란한 방법이다. 일반적으로 포집관을 통하여 현장에서 화학물질을 포집한 후에 농도를 분석하는 방법을 주로

사용하고 있다. 건축자재로부터 방출되는 화학물질을 측정하는 방법은 소재측정법, 데시케이터법, 방출시험챔버법 등으로 구분할 수 있다.

소재측정법은 건축자재 내부에 포함된 화학물질의 종류와 농도로 표시되고 데시케이터법은 건축자재의 내부에 함유된 물질의 농도를 측정하는 방법으로 일반적으로 실내의 표면에서 방출되는 화학물질의 농도를 측정하는 방법으로는 적절하지 않은 것으로 평가되고 있다. 따라서 최근에는 실내의 표면에서 방출되는 화학물질의 양을 측정하는 방출농도시험 챔버법이 측정 평가기법으로 많이 사용되고 있으며, 이를 건축자재의 오염물질 방출시험에 적용하는 것이 가장 타당하다.

(1) 소재측정법

건축자재를 분쇄하여 그 성분을 측정하는 방법이다. 이 방법은 건축자재를 구성하는 화학물질을 분석하는 방법으로 사용할 수는 있지만, 실내 공기 중에 방출되는 오염물질을 파악하기에는 곤란한 방법이다.

(2) 데시케이터법

일본의 JAS(japanese agricultural standard)에서 채택하고 있는 포름알데히드의 방출농도를 측정하는 방법이다. 데시케이터 용량 9~11L 내부의 온도를 일정하게 유지하고 밀폐된 공간에 시험편(15cm×15cm)10매를 위치시키고 HCHO의 포집제로 물에 흡수되어 수용액 상태로 된 것을 일정시간 (24시간) 경과후 아세틸아세톤법에 의한 비색법을 이용하여 농도를 측정 하는 방법이다.



[그림 2] JAS방법으로 측정하는 데시케이터의 모습



이 방법은 건축자재의 양면과 측면으로부터 방출되는 농도를 측정하게 되므로 일반적인 실내공간에서의 방출특성과는 차이가 있다. JAS에서는 일반합판, 구조용합판, 특수합판, 복합바닥재료 등에 적용하고 있다. HCHO의 수용액 농도에 의해 재료를 F1, F2, F3로 구분하여 규격을 정하고 있다.

(3) 방출시험 챔버법

미국의 ASTM과 유럽연합(ECA)에서는 챔버방식에 의한 규격을 정하고 있다. 챔버는 유리나 스테인레스로 제작되며 대형 챔버법과 소형 챔버법으로 구분하고 있다. 대형 챔버는 가구류 등을 내부에 설치하여 측정이 가능하도록 구성된 것이며, 소형 챔버는 건재 표면에 설치하는 방법(FLEC법)과 챔버내부에 재료를 설치하는 방법(small chamber)으로 구분하고 있다.

VOCs와 HCHO의 방출시험 챔버법

ENV13419-1 : 1999 Building products - Determination of the emission of Volatile organic compounds - Part 1 : Emission test chamber Method

ENV13419-3 : 1999 Building products - Determination of the emission of Volatile organic compounds - Part 3 : Procedure for sampling, storage of samples and preparation of test specimens

ASTM D 5116 : 1990 Standard guide for small-scale environmental Chamber determinations of organic emissions from indoor materials/products

JIS Z 8703 : 1983 시험장소의 표준상태

ISO/DIS 16000-3 Indoor air - Part 3 : Determination of Formaldehyde and other carbonyl compounds - Active sampling method

ISO/CD 16000-6 Indoor air - Part 6 : Determination of volatile organic compounds in indoor and chamber air by active sampling on Tenax TA, thermal desorption and gas-chromatography MSD/FID

ECA Total volatile organic compounds(TVOC) in indoor air quality

[비고]

1. ENV : European Prestandard, ENV는 완전한 유럽의 규격 EN으로 최종 전환할 때까지 경험과 의견을 수렴하기 위해 기간이 정해진 규격안
2. ASTM : American Society for Testing and Materials
3. ISO/DIS : ISO Draft International Standard
4. ISO/CD : ISO Committee Draft
5. ECA : European Collaborative Action, "Indoor Air Aqality and its Impact on Man"

일본의 Small Chamber를 이용한 방출시험챔버법은 건축물의 내장에 사용되는 판, 판넬과 보드 등의 제품, 벽지와 카펫트 등의 롤(roll) 형태의 제품과 이들의 시공에 사용되는 접착제에 적용하며, 건축재료의 VOCs와 알데히드류의 방출을 측정하기 위한 방법이다.

건축자재에서의 VOCs와 포름알데히드를 비롯한 많은 유해물질들의 방출특성은 온도와 습도의 영향을 많이 받으므로 온도와 습도의 제어장치와 온·습도를 연속적으로 측정할 수 있는 장치가 필요하다. VOCs와 포름알데히드의 측정은 Tenax-TA 흡착제가 충전되어있는 흡착튜브를 이용하여VOCs를 측정하며, DNPH가 코팅되어 있는 cartridge를 이용하여 포름알데히드를 측정한다. VOCs는 열탈착 방법과 GC-MS(Scan mode)를 이용하여 분석하며, 포름알데히드는 Acsetonitrile로 추출한 후 HPLC를 이용하여 분석한다.

<표 13> 일본 방출시험챔버법의 대상 VOCs

Compounds		CAS-No.	Guideline Value
Toluene		108-88-3	260 μ g/ m ³
Xylenes	o-Xylene	95-47-6	870 μ g/ m ³
	m-Xylene	108-38-3	
	p-Xylene	106-42-3	
p-Dichlorobenzene		106-46-7	240 μ g/ m ³

(Source : 일본벽장공업협회, 2000)

<표 14> 알데히드류의 예

Compounds	CAS-No.	Guideline Value
포름알데히드	50-00-0	100 μ g/m ³
아세트알데히드	75-07-0	-
아크로레인	107-02-8	-

(Source : 일본벽장공업협회, 2000)

(1) 시험챔버법에 대한 규정

건축자재로부터 실내 공기 중으로 방출되는 화학 물질은 매우 다양한 인자에 의해 영향을 받는다. 건축자재 내부의 화학물질 함유량이나 실내의 온도, 오염공기의 농도, 환기량 등 다양한 영향 인자로 갖고 있다. 가스상 오염물질을 정확하게 측정하기 위해서는 측정 대상 오염물질의 정확한 샘플링과 적절한 분석 방법의 선정이 중요하다. 또한, 오염물질의 샘플링은 측정 목적에 따라 대상 오염치를 대표하거나 인체에 노출되는 피폭정도를 파악할 수 있도록 포집되어야 한다. 작업환경이나 대기환경에서의 측정에서는 대상 오염물질을 규정하고 측정하는 방법

에 대한 기준이 마련되어 있으나, 건축자재로부터 방출되어 실내 오염의 원인이 되는 VOCs의 측정방법에 대해서는 국제적으로 공인된 방법론이 아직 미비한 실정이다. 각종 측정사례를 비교하여 보면 측정자마다 측정 방법이 상이하고 분석방법이 달라 측정된 결과를 비교 하는데 어려움이 많은 것이 현실이다.

<표 15> 미국 ASTM과 유럽 ECA의 챔버규격

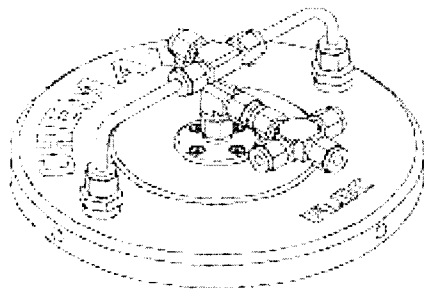
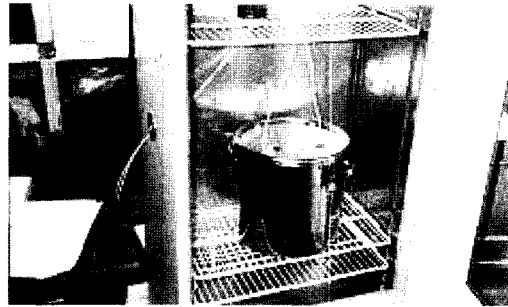
구 분	ASTM	ECA
용적	소형챔버	0.02~1.0m ³
	대형챔버	22m ³
	구분용량	5m ³
측정조건	온도	25 \pm 1 $^{\circ}$ C
	상대습도	50 \pm 4%
	환기횟수	0.5 \pm 0.05회/h

(2) 각종 소형챔버의 형태

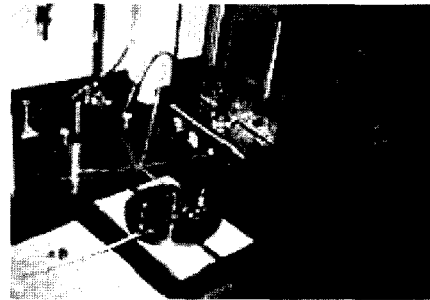
휘발성 유기화학물질은 화학적으로 구성이 복잡하

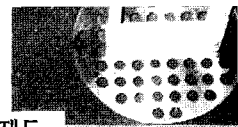


[그림 3] 원통형 소형Chamber의 모습



[그림 4] 현장 및 실험실 측정용 FLEC





고 여러가지 물질의 화합물로 종류가 다양하며 성질이 변하는 특징이 있어 측정이 복잡하고 세심한 주의가 요구된다. 건축자재로부터 방출되는 오염물질을 측정하기 위하여 chamber를 이용한다. 측정용 chamber는 용량이 1m³ 이하인 소형과 1m³ 이상인 대형으로 구분하는 것이 일반적이다. 소형 chamber는 일반적으로 건축자재의 측정시편을 이용하여 VOCs 방출 강도를 평가하는데 이용되며, 대형 chamber는 가구류의 평가에 이용하고 있다.

FLEC(field and laboratory emission cell)을 이용한 VOCs와 포름알데히드의 측정은 실험실과 현장에서 측정이 가능한 방법이다. 덴마크의 공중위생원(the danish national institute of occupational health)에서 고안된 것이며 소형의 화학물질 방출농도 측정기

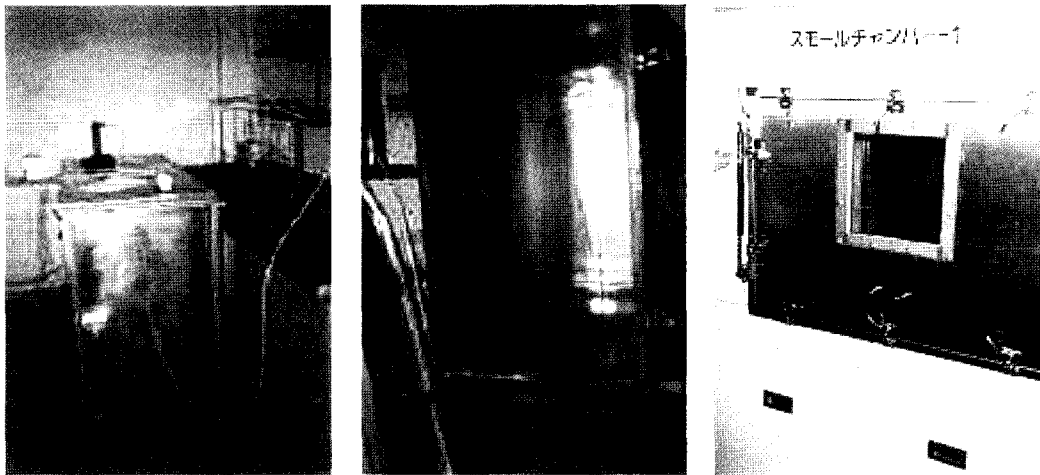
라고도 한다. 평평한 건축자재의 상부에 설치하여 건축자재에서 방출되는 VOCs와 유해물질의 측정에 사용된다.

[그림 6]은 대형 chamber의 모습이며, 가구류 등에서 방출하는 오염물질을 평가하기 위하여 유효하도록 고안된 것이다.

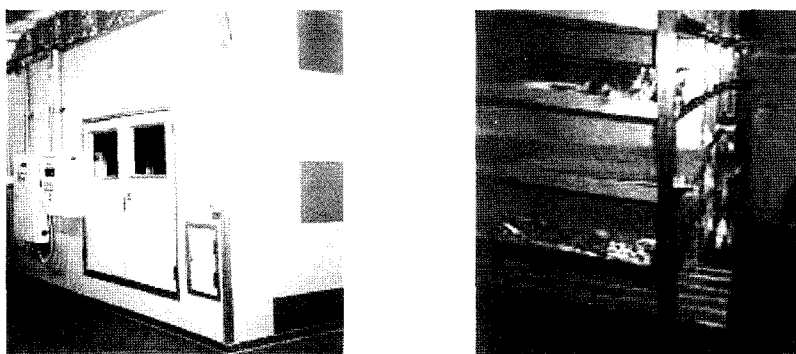
건축자재의 화학물질 방출농도 시험법(한국공기청정협회 안)

(1) 실험방법 및 측정시스템 구성

- 1) 항온조(environmental chamber)
- 2) small chamber
- 3) 유량계 및 유량(공기)조절 valve 류



[그림 5] 박스형 소형 Chamber의 형태



[그림 6] VOCs 방출농도 측정용 대형 챔버와 건축자재의 측정샘플

- 4) 테프론튜브 및 엑서서리
- 5) 샘플링 펌프
- 6) 활성탄 필터(activated charcoal filter)
- 7) active sampler (tenax 튜브 및 테프론 cap)
- 8) 온도, 습도 측정 및 기록장치
- 9) 시편 고정장치
- 10) air pump (supply pump 및 sampling pump)

(1) 샘플링 및 분석 방법

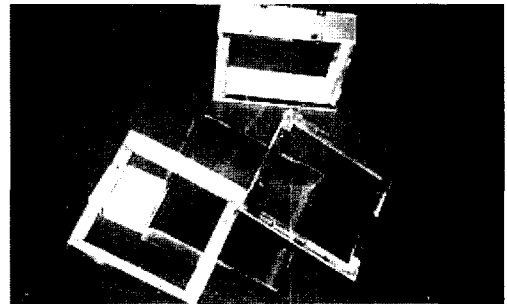
1) 샘플링 방법

건축자재로부터 방출되는 휘발성 유기화학물질의 종류는 매우 다양하며, 대부분 aliphatic and cyclic hydrocarbon(탄화수소계)와 방향족계의 물질, terpenes, 알데히드와 케톤, 알콜, 에스테르류, 할로젠화 탄화수소계의 물질로 밝혀지고 있다. 실내공기 중의 VOCs 물질은 대부분 mg/m³의 단위수준으로 존재한다. 개보수 공사가 진행된 건물이나 신축건물에서는 mg/m³ 수준까지 검출되기도 한다. 건축재료로부터 방출되는 VOCs 농도는 측정방법과 재료의 생산시기에 따라 다르며, 수 g/m³ 에서 수 mg/m³ 의

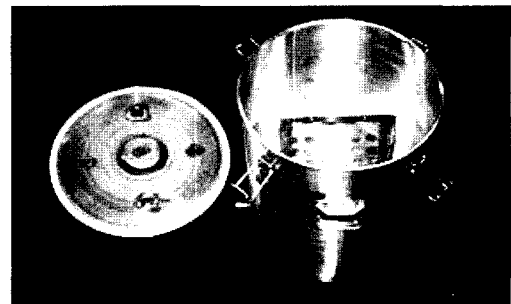
범위에서 나타나고 있다. VOCs 물질은 고품의 흡착제를 이용하여 포집한 후에 열을 이용한 탈착과 GC(gas chromatographic)를 이용한 분석으로 측정한다. 흡착제의 선정은 VOCs 물질의 측정시 가장 중요한 사항으로 평가되고 있다. VOCs 물질의 포집방법은 표 17과 같다.

포름알데히드의 측정은 공정시험방법에 제시되어 있는 방법으로 포름알데히드를 포함하고 있는 배출가스를 크로모핀산과 아세틸아세톤을 함유한 흡수액에 각각 포집한 후 가온 발색시켜 흡광도를 측정하는 크로모핀산법과 아세틸아세톤법이 있다. 그러나 최근에는 DNPH가 코팅되어 있는 실리카 카트리지를 이용하는 DNPH 유도체화 방법이 사용되고 있다. DNPH유도체화 방법은 대기 중에 존재하는 카르보닐 화합물과 DNPH와 반응에 의해 생성되는 DNPH 유도체를 분석하는 방법으로 시료의 포집시 알데히드 뿐 만 아니라 케톤과도 반응하여 안정한 유도체를 형성하는 특징이 있다. 카르보닐 화합물과 DNPH와의 반응은 그림 10와 같다

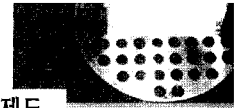
DNPH 카트리지(Supelco, USA)는 4cm의 폴리프



[그림 7] 소형챔버의 모습과 시험편 고정장치



[그림 8] Chamber 내부에서 고정틀과 챔버의 고정 모습

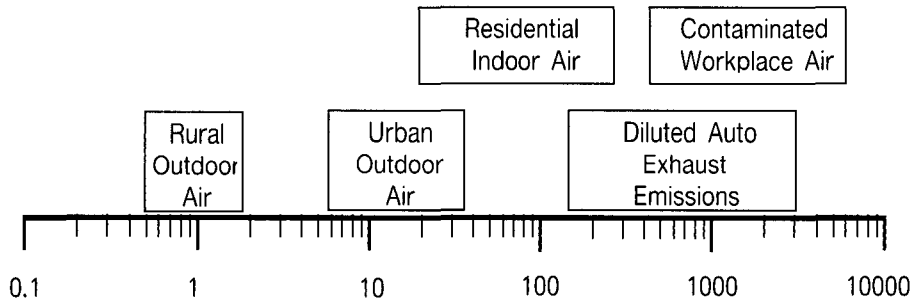


<표 16> 용기포집법과 고체흡착법에 관한 장·단점

Sampling Method	Canister	Sorbent
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • Breakthrough가 야기되지 않는다. • 열탈착이 필요하지 않다. • 반복분석이 가능하다 • Artifact가 형성되지 않는다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 측정이 용이하다 • 경제적이다 • 수분에 대한 영향이 적다. • 극성물질과 비극성물질의 포집이 가능하다.
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 경제적 비용이 크다 • 시료가 오염되기 쉽다. • 비극성물질에만 가능하다. • Sample volume에 한계가 있다. • 수분에 대한 영향이 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> • Breadthrough가 야기된다. • Artifact가 형성된다. • 분석의 기회가 제한되어 있다. • C₂이하의 저분자물질 포집에는 부적합하다.

<표 17> VOCs 포집용 고형 흡착제의 종류와 특성

Sorbent	Desorption technique	Compounds Sampled	Starting at B.P.(°C)	Remarks
Tenax TA	thermal	- most non-polar VOCs - terpenes - slightly polar VOCs - aldehydes >C ₅	> 60	-low background -well investigated -some decomposition products (benzaldehyde, acetophenone)
Carbotrap	thermal	- most non-polar VOCs - slightly polar VOCs	> 60	-low background -reactions of some compounds (aldehyde, terpenes)
Activated carbon	solvent / (thermal)	- most non-polar VOCs - slightly polar VOCs	> 50	-high capacity -reactions of some compounds
Porapak Q	thermal	- most non-polar VOCs - slightly polar VOCs	> 60	-high background -low thermal stability
Porapak S or R,N	thermal	- VOCs + moderately polar terpenes	> 40	-high background -low thermal stability
Organic molecular sieves	thermal	- polar and non-polar VOCs	> -80	-water desorption



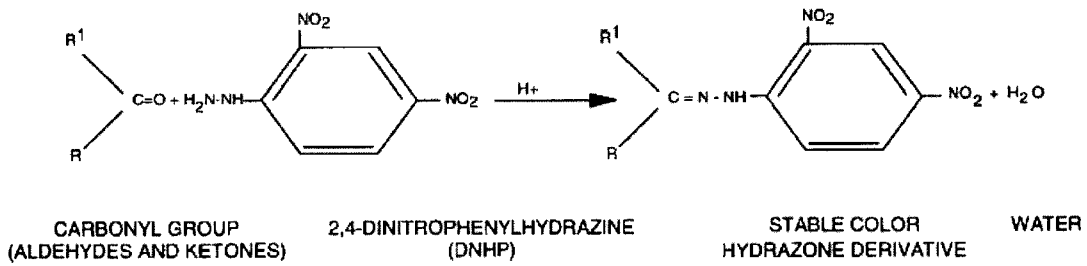
[그림 9] 포름알데히드의 일반적인 농도분포 범위

로필렌(P·P)재질의 형식으로 양 끝에 폴리에틸렌(P·E) Filter가 있으며, 중간부분은 고순도로 정제된 DNPH가 충전되어 있다. 포름알데히드 측정시 오존이 존재하면 DNPH 유도체가 감소되거나, DNPH가 오존과 반응하여 인위적인 불순물이 형성되는 등의 방해물질로 작용되므로, 이러한 오존의 방해를 최소화하기 위해서 KI가 채워진 오존 스크루버를 DNPH

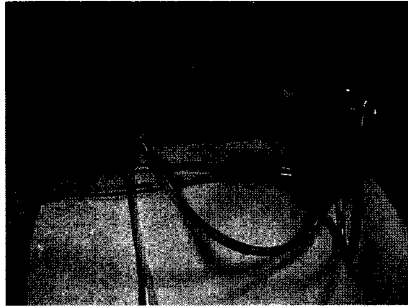
카트리지의 전단부에 설치하고 차광에 대해서는 알루미늄 호일을 이용하여 DNPH 카트리지의 외벽을 감싸준다.

시료의 채취 및 분석방법

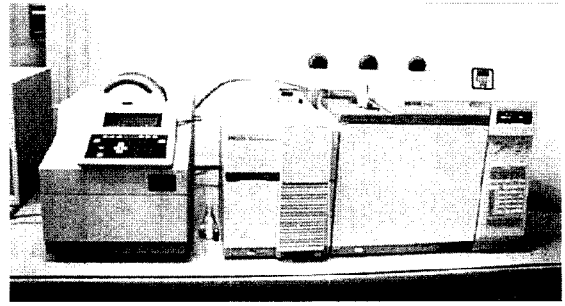
- (1) VOCs 분석방법
- 1) 시료의 채취방법



[그림 10] DNPH 유도체화 반응



[그림 11] VOCs 튜브 포집 장면



[그림 12] GC/MS 분석기기

본 연구에서는 ASTM, JIS, EU의 건자재 관련 방출 시험에 따른 분석방법의 근본원리와 특성에 준하는 방법을 채택하여 VOCs 방출시료를 채취한다. VOC 방출시료 채취를 위해 병렬흡착을 가능케 하는 듀얼 포트를 이용하여 중복시료채취(duplicate sampling)를 원칙으로 한다. 시료의 채취는 0,6cm×9cm 스테인레스 튜브에 Tenax TA 200mg을 충전한 흡착관을 저유량시료채취용 펌프(Gillian, U.S.A)에 연결하여 50ml/min~100ml/min으로 1시간 포집한다.

2) 시료의 분석방법

표준시료 및 방출시험시료에 함유된 VOC 대상물질의 분석에는 자동 열탈착장치(ATD-400, Perkin Elmer, UK)가 GC 칼럼으로 직접 연결된 GC/MS를 사용한다. 각 흡착관의 특성과 칼럼의 특성에 따라 분석조건이 달라져야 하므로, 방출시험 시료 채취시 동일한 조건으로 채취하였던 예비시료를 이용하여 분석조건을 결정한다.

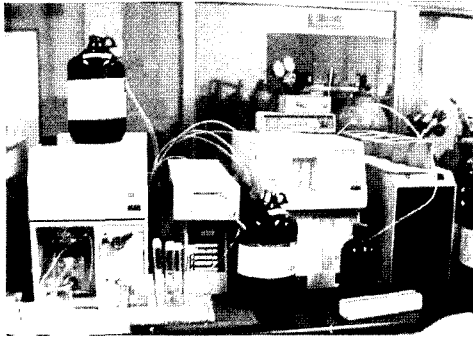
(2)알데히드류 분석방법

1) 시료의 채취방법

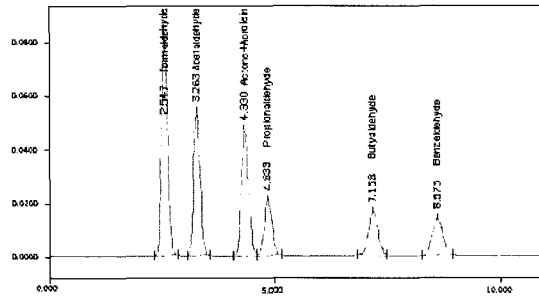
본 연구에서는 1cm (i.d)×4cm (total length)의 폴리프로필렌 튜브에 350mg의 2,4-DNPH-coated silica (1mg DNPH)를 충전한 LpDNPHS10L 카트리지(Supelco Inc. U.S.A)를 사용하여 카르보닐 화합물을 채취한다. 이때 유량조절장치가 부착된 저유량 시료 채취용 펌프(Gillian, U.S.A)를 사용하며, 총 채취량이 1.2~1.5L 가 되도록 한다. 또한 오존에 의한 방해작용을 제거하기 위해 1cm (i.d)×4cm (total length)의 폴리프로필렌 튜브에 KI 결정을 채운 오존 스크리버를 LpDNPH S10L 카트리지 앞에 연결하여 시료를 포집하며 채취된 시료는 추출 전까지 냉암소에 보관한다.

<표 18> GC/MS의 분석조건

Instrument	Instrumental Model and Conditions
Diluter	Entech. 4600
GC/MSD	HP-6890 / HP-5973N · Column : HP-1 capillary column(60m × 0.32mm × 5µm) · Column temp : 40℃ (5min)→70℃ (5min)→150℃ (5min)→200℃ (5min)→220℃ (5min) · Ramp rate : 5℃/min to 200℃, 10℃/min to 220℃ · Column flow : 1ml/min · MS ion source temp : 230℃



[그림 13] HPLC 분석기기



(Y축 : Voltage, X축 : time)

[그림 14] HPLC로 분석된 카르보닐화합물의 피크

2) 시료의 추출방법

DNPH와 반응하여 형성된 DNPH-카르보닐 유도체는 농축 바이알(10ml)을 이용하여 HPLC 등급 아세토니트릴 3ml로 추출하며 추출액은 갈색 바이알에 담은 후 테플론 캡으로 밀봉하여 곧 바로 분석을 수행한다. 추출시의 오염을 막기 위해 모든 유리기구는 아세토니트릴로 세척한 후 60℃에서 건조하여 사용하며 공기중 노출을 최소화한다.

3) HPLC 분석방법

추출된 DNPH 유도체로부터 카르보닐화합물의 분석은 HPLC를 이용하여 행하였다. DNPH 유도체는 자외선 영역에서 흡광성이 있으며 350-380nm에서 최대의 파장을 360nm에 고정시켜 분석한다. 본 연구에서는 표준물질을 이용하여 구한 감응계수를 시료의 피크면적에 적용하여 계산하는 외부표준법을 사용한다.

건축재료 화학물질 방출 실험절차

(1) 측정 및 실험절차

건축물에서 방출되는 VOCs는 건축자재와 건물의 특성과 경과년도 등에 따라 방출정도가 다르며, 환기의 유무와 환기의 정도에 따라 실내공기질의 상태가 다르다고 할 수 있다. 건축 자재의 오염물질 방출 특성은 자재의 방출물질 조성상 오염물질의 함유량이 많을수록, 함유 물질의 수증기압이 높을수록, 자재의 방출 표면적이 클수록, 오염물질의 함유밀도가 높을수록 방출량과 방출강도가 높아지며, 자재의 두께와 표면의 처리상태는 오염물질이 방출되는 기

간에 영향을 미친다. 또한, 재료의 흡착성이 크면 오염물질이 흡착된 후에 재 방출되는 비율이 증가하는 특성이 있다. 온도와 습도조건 역시 오염물질의 방출특성에 중요한 변수로 작용한다. 습도에 의해 건축재료 내부의 물질이 용해되어 표면으로 운반되고 화학반응을 유발하여 오염물질의 방출을 촉진시킨다. 실내온도의 상승은 건축재료 내부의 화학물질의 방출을 촉진시키며 휘발성물질의 방출량을 증가시킨다. 또한, VOCs 물질들은 비등점이 상온보다 높기 때문에 건축자재의 표면으로부터 서서히 실내 공기중으로 방출하게 된다.

건축자재에서 방출되는 미량의 화학물질을 정확하게 평가하기 위해서는 평가 대상 건축자재의 시료 채취에서부터 시료의 운반과 보관, 시료의 제작, 샘플링방법 및 분석 방법 등에 따라 방출농도의 측정 결과가 변화될 수 있다. 따라서 평가 자재의 정확한 측정 및 시험을 위한 공정시험법의 확립이 필요하다 고 판단된다.

(2) 시료의 샘플링방법과 분석 방법

건축물의 내장에 사용되는 판, 판넬류, 보드 등의 제품과 벽지와 바닥재 등의 물형태 제품과 이들의 시공에 사용되는 접착제, 마감에 적용하는 페인트 등 건축자재에 대한 화학물질인 VOCs와 포름알데히드의 방출실험을 위하여 시료의 샘플링과 분석방법이 필요하다. 시료의 채취 및 준비를 위하여 롤상태의 제품, 판상제품, 조각제품, 액상제품에 대한 시료준비 방법이 별도로 마련되어야 한다. 측정시험은 small chamber를 이용한 방출시험을 원칙으로하며,

VOCs와 포름알데히드의 측정은 Tenax-TA 흡착제가 충전되어 있는 흡착튜브를 이용하여 VOCs를 측정하고, DNPH가 코팅되어 있는 cartridge를 이용하여 포름알데히드를 측정한다. VOCs는 열탈착 방법과 GC-MS(scan mode)를 이용하여 분석하였고, 포름알데히드는 acetonitrile로 추출한 후 HPLC를 이용하여 분석한다.

1) 시료의 준비

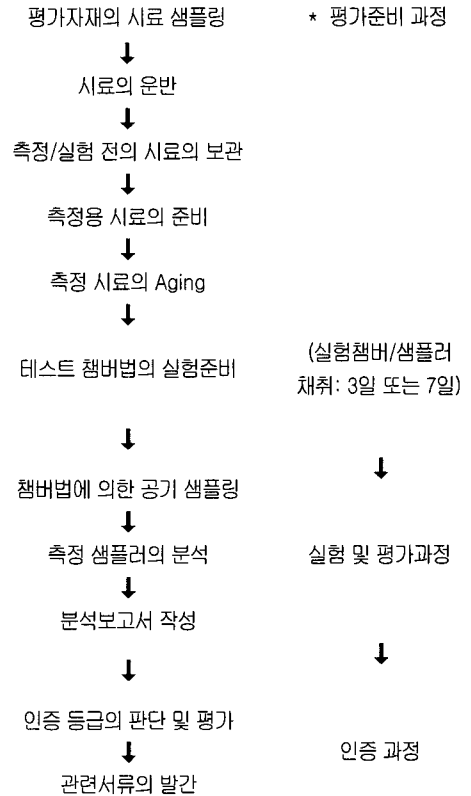
- ① 롤상 제품 : 벽지, PVC 바닥재, 카펫트, 필름 류 등
- ② 판상재료 : 석고보드, 합판, MDF 집섬목 등
- ③ 조각제품 : 바닥제품, 타일류, 조각목재 등
- ④ 액상제품 : 페인트, 접착제 등

실내의 마감자재는 롤상재의 제품(벽지, PVC 바닥재, 카펫트, 필름 류 등), 판상재료(석고 보드, 합판, MDF 집섬목, 목재 등), 조각제품(바닥판넬, 타일류, 조각목재 등)과 같은 일반자재와 페인트, 접착제 등과 같은 액상자재로 분류한다. 측정 시료를 준비하기 위하여 일반자재는 공장에서 생산되어 출하시점으로부터 7일 이상 경과되지 않아야 하며, 최대 10일이 경과되지 않는 범위에서 정상적인 제품으로부터 시료를 채취하는 것을 원칙으로 한다. 액상자재의 경우에는 페인트나 접착제를 개봉하여 측정 시료를 제작한다. 액상재료의 측정 시료는 거친 유리판이나 스테인레스판에 접착제의 경우에는 300g/m² 정도의 두께, 페인트의 경우에 250nm의 두께로 시료를 제작한 후에 상온에서 건조시킨 것을 측정시료로 준비한다.

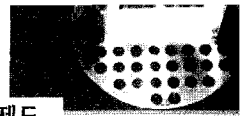
2) 건축자재에서의 방출시험 예

이러한 방출시험방법의 원리는 방출시험챔버내의 공기농도, 통과한 공기유량 및 시험편의 표면적을 구하여 시험대상이 된 건축재료의 단위면적당 VOCs 및 알데히드류의 방출속도를 결정하는 방법이다. 일정한 온도, 상대습도 및 환기량의 조건을 가진 방출시험챔버 내에서 공기를 완전하게 혼합시키고, 출구에서 포집된 공기에서 방출시험챔버 내부의 공기농도, travel blank농도 및 환기량을 파악하여, 특정 시간에 관한 단위표면적당의 VOCs 및 알데히드류의 방출 속도를 계산한다.

측정 및 시험절차(testing protocol)



방출챔버의 형태는 표면이 잘 연마된 스테인레스 재질로 된 것으로 용적은 20±0.5l 이다. 챔버의 내부는 공기가 확실하게 혼합할 수 있도록 설계되어 있어야 하며 전체에서 부품이 분리가능하고, 세정, 가열처리가 용이한 방출시험챔버를 사용하는 것을 원칙으로 하고 있다. 또한, 방출시험챔버의 seal 및 fan 등의 혼합장치는 저방출성 및 저흡착성의 것으로 배경 농도에서의 영향이 적은 것을 사용한다. 방출챔버는 무엇보다도 기밀성의 유지가 중요하다. 방출챔버에 제어되지 않는 외기의 유입과 누기를 방지하기 위하여 기밀상태를 유지하고 방출챔버의 내부는 대기압보다 다소 높은 기압으로 조작하며 시험장소에 따라 영향을 저감할 수 있어야 한다. 기밀성을 위한 조건은 초과압력 1000Pa에 1분간의 공기가 새는 양이 방출시험챔버 용적의 0.1% 미만이어야 하고 공기가 새는 것은 급기량의 1% 미만이어야 하는 조건을 만족해야만 한다. 건축자재에서의 VOCs와 포름알



데히드를 비롯한 많은 유해물질들의 방출특성은 온도와 습도의 영향을 많이 받으므로 온도와 습도의 제어장치와 온·습도를 연속적으로 측정할 수 있는 장치가 필요하다.

3) 실험조건

측정 및 실험조건	환경제어 기준
온도	25℃ ± 2℃
상대습도	50% ± 10%
시료 부근의 기류속도	약 0.1~0.3m/s
환기횟수	0.5회/h ± 10%

구분		내용
일반자재 (벽지, 바닥, 목재, 패널)	측정시점	시험시작 7일 후
	측정개수	3개
	결과비교	가까운 2개값의 평균값
페인트, 접착제	측정시점	시험시작 3일 후
	측정개수	3개
	결과비교	가까운 2개값의 평균값

(3) 친환경 건축자재 인증등급

실내오염물질인 TVOC 및 HCHO의 발생원이 되는 건축자재의 분류 방안으로 건물의 시공시 방출강도가 낮은 등급의 자재를 선정하도록 유도하고, 적절한 건축자재의 선정으로부터 실내공기환경을 개선

하기 위하여 표 19와 같이 건축자재로부터 방출되는 TVOC와 HCHO 농도의 인증등급을 설정하여 건축자재의 분류방안을 마련한다.

맺음말

건축자재의 오염물질 다량 방출기준과 건축자재의 인증제도는 쾌적한 실내환경의 유지와 재실자의 건강증진 뿐 만 아니라 하나의 통합적인 실내공기질 방안을 마련한다는 측면에서 매우 중요하다. 우리나라에서 건축자재에 대한 관련규정을 확립하기 위해서는 건축자재에 대한 인증제도가 먼저 실시되고 있는 외국의 사례를 통하여 관련제도의 기본개념, 범위, 방법, 사후관리에 대해 충분히 검토한 후 우리 실정에 맞는 방법으로 도입해야 하며, 국내에서 생산되거나 수입되어서 사용되는 건축자재와 실내공기질 중에서 VOCs나 HCHO를 비롯한 유해 화학물질에 대한 자료의 D/B구축이 반드시 선행되어야 할 것으로 판단된다.

또한, 건축자재에서 방출되는 화학물질(VOCs/HCHO)에 대한에 대해 공정하고 정확한 평가를 위하여 공정시험법의 확립이 필요하며, 규제물질의 설정을 위해서는 현행되고 있는 국내의 실내오염 규제물질과 각종 유해화학물질에 대한 고찰을 통해 평가항목을 결정하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 평가기준의 확립을 위해서는 실내 거주자들에게 미칠 수

<표 19> 건축자재의 인증등급

구분		일반자재	페인트	접착제
표시(5개) ○○○○○	TVOC	0.10 미만	0.10 미만	0.25 미만
	HCHO	0.03 미만	0.03 미만	0.06 미만
표시(4개) ○○○○	TVOC	0.10 이상~0.2 미만	0.10 이상~0.2 미만	0.25 이상~0.50 미만
	HCHO	0.03 이상~0.05 미만	0.03 이상~0.05 미만	0.06 이상~0.12 미만
표시(3개) ○○○	TVOC	0.20 이상~0.40 미만	0.20 이상~0.40 미만	0.50 이상~1.50 미만
	HCHO	0.05 이상~0.12 미만	0.05 이상~0.12 미만	0.12 이상~0.40 미만
표시(2개) ○○	TVOC	0.40 이상~2.00 미만	0.40 이상~2.00 미만	1.50 이상~5.00 미만
	HCHO	0.12 이상~0.60 미만	0.12 이상~0.60 미만	0.40 이상~2.00 미만
표시(1개) ○	TVOC	2.00 이상~4.00 미만	2.00 이상~4.00 미만	5.00 이상~10.00 미만
	HCHO	0.60 이상~1.25 미만	0.60 이상~1.25 미만	2.00 이상~4.00 미만

있는 영향을 최소화하기 위하여 각각의 물질에 대한 기준치와 권고치의 확립이 필요하다. 그리고 무엇보다도 건축자재와 관련한 평가제도의 올바른 정착을 위해서는 정책과 제도적인 측면에서 환경표지 제품을 생산하는 기업에 대해 정부의 지원, 환경표지 인증제품의 우선구매, 환경표지제도의 홍보, 기술지원 등 정부의 일괄적이고 총괄적인 정책이 밑받침되어야 할 것이다.

최근에 생산되는 건축자재는 화학공업의 발달에 힘입어 다양한 복합물질로 구성되어 있으며 수많은 유해물질을 포함하고 있어 건축자재에서 방출되는 VOCs에 대한 연구가 중요한 관심사로 부각되고 있다. 그러나 건축자재에서 방출되는 VOCs의 측정 방법은 일본의 소형챔버를 이용한 방출챔버시험법과 덴마크에서 고안된 FLEC을 이용하고 있으나 아직까지 국제적으로 공인된 방법이 미비하여 방출시험 결과를 비교하는데는 현실적으로 많은 어려움이 있다. 이에 국내에서도 이러한 건축자재에서 방출되는 VOCs와 유해물질들을 공정하고 정확하게 평가하기 위하여 이에따른 공정시험방법의 확립이 필요하다고 하겠다.

건축자재의 오염물질 방출시험 방법 및 다량 방출 기준, 건축자재의 인증제도 등의 확립에 따른 기대효과로는 실내거주자들의 건강유지 및 향상과 실내환경 정보의 D/B를 통한 VOCs의 효율적인 관리, 적절한 평가기법의 개발에 따른 지속적인 실내공기오염 예방대책 수립 등의 효과가 있을 것으로 사료된다.

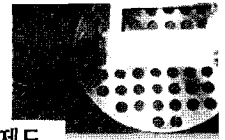
건축자재에 대한 오염물질 방출시험 방법과 다량 방출기준 등 관련규정이 정착된다면 건축관련 분야의 산업체에서는 요구되는 실내환경의 특성에 알맞은 건축 자재를 선정할 수 있는 기준으로 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 또한 건축자재를 생산하는 업체에서는 건축자재의 분류규정에 적합한 재료를 개발하기 위한 노력이 계속되어 건축자재의 선진화, 국제화에도 크게 기여할 것으로 생각되어 진다.

건축자재와 관련된 평가 및 인증제도의 실행으로 인한 건축자재의 성능향상의 예는 독일의 EMICODE 나 BLUE CODE, 핀란드의 건축자재분류 규정의 시행과 더불어 나타난 과급효과에서도 쉽게 접할 수 있다. 현재 활발히 논의되고 있는 ISO TC 205(건축 환경분야)와 ISO TC 146 (건축자재 화학물질 방출

특성 분야) 등의 활동으로 보아 가까운 장래에 이분야의 국제표준이 설정될 것으로 예측할 수 있다. 우리나라에서도 건축자재와 관련된 평가 및 인증제도의 도입을 위한 노력은 계속되어야 하며, 아직까지 기초연구가 불충분한 상태에서 이러한 제도의 시행을 위한 노력이 시급하다고 볼 수 있다. 이러한 노력은 관련 분야의 생산품의 성능향상과 국제적인 추세에 따른 관련제도 정착 등 추구하는 목표를 조기에 달성할 수 있고, 이러한 제도의 효율적인 운영으로 국민의 건강을 보장하고 실내의 생활환경을 쾌적하게 유지할 수 있는 기틀을 마련 하여야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 윤동원, 2000. 10. 주거용건물의 화학물질에 관한 고찰, 주택 제 66호, 대한주택공사
2. 김신도, 윤동원, 2002. 6. 저 VOCs 배출 천연도료의 개발, KICT2001산·학·연 공동연구개발사업 연구보고서
3. 김신도, 윤동원, 2000. 12. 실내공간의 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs) 특성 파악 및 제어방안에 대한 기초조사, 환경부 보고서
5. 윤동원, 손장열, 박병운, 1992. 10. 사무소건물의 실내환경 및 냄새에 관한 측정연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제12권 제2호
6. 김운신, 1990. 우리나라 실내공기오염현황과 대책, 공기조화 냉동공학 제19권제6호
7. 조남철, 문환석, 홍종욱, 황진주, 2001. 경북군 근정전 단청안료의 성분분석, 보존과학연구 제 22집, 93-114
8. 한국대기보전학회 측정분석분과위원회, 1998. 대기환경과 휘발성유기화합물질,
9. 김만구, 박춘옥, 권영진, 이용근, 이대운, 1997, 왁스청소에 기인한 실내공기 중 휘발성 유기화합물의 농도변화, 한국대기보전학회지, 제13권 제3호, pp. 221~229.
10. 김영민, 박상근, 백성욱, 1995, 대구지역 일반실내환경 중 VOC 농도, 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문초록집, pp 348~351.



11. 박진철, 이언구, 1998, 건축재료에서의 실내공기 오염물질 발생농도 측정연구, 한국건축 설비학회지, 창간호, pp. 126~137.
12. 송정한, 김영민, 황윤정, 박상곤, 백성욱, 1995, 대구지역 공중이용시설의 실내공기중 휘발성 유기화합물의 농도(방향족과 카르보닐계 화합물을 대상으로), 대한환경공학회 추계학술 연구발표회 논문초록집, pp 344~347.
13. 신혜수, 김윤신, 허귀석, 1993, 실내의 공기중 휘발성 유기화합물(VOCs)의 농도조사에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 제9권 제4호, pp. 310~390.
14. 조동우, 1998, 환경친화적 건축실현을 위한 성능 인증제도, 한국건축설비학회지, vol. 1, No. 3, pp. 22~30.
15. 한화진, 1997, 선진국의 VOC 규제 및 관리동향, 첨단환경기술 7월호, pp 2~9.
16. 한화진, 2000, 국내 VOCs 관리의 최근 동향 및 전망, 첨단환경기술 7월호, pp. 50~55.
17. 대한건축학회, 1998, "21세기 실내공기환경의 질" 세미나 발표집.
18. 과학기술처, 1993, "수용성 고분자를 이용한 첨단 금속 코팅제의 개발(III)"
19. 한국표준협회, 1997, KS F 3101, KS F 3118, KS F 3119
20. 한국표준협회, 1997, KS M 1701, KS M 37017, KS M 3702, KS M 5320, KS M 5000 2411, KS M 5000 2412, KS M 5001
21. 환경부, 1999, 실내공기질 관리방안에 관한 연구.
22. 환경부, 2001, 실내공간의 VOCs 특성 및 제어방안에 대한 기초조사
23. 한국공기청정협회, 2000, 실내 VOCs 토론회 자료집.
24. 한국공기청정협회, 1999, 국제공기청정심포지움 '99 자료집.
25. 한국공기청정협회, 2000, 제17회 공기청정 기술 세미나 '2000 자료집.
26. 한국대기보전학회, 1998, 대기환경과 휘발성유기화합물질.
27. 한국정보기술원, 1996, VOC(휘발성유기화합물) 방지기술 세미나.
28. 壁機材料協會, 2000, 放散試驗チャンパー法, 建築材料の揮發性有機化合物(VOC)及びアルデヒド類放散測定.
29. Bruce A. Tichenor, Mark A. Mason, 1988, Organic Emissions from Consumer Products and Building Materials to the indoor Environment, JAPCA, Vol. 38, No, 3, pp. 264~268.
30. F R de Aquino Neto, J N Cardoso and L S R Brickus, 1999, ASSESSMENT OF INDOOR AND OUTDOOR TVOC IN A RENOVATED OFFICE IN RIO DE JANEIRO, BRAZIL, Indoor Air 99, Vol. 5, pp. 352~357.
31. K Levsen, E Iigen, J Angerer, P Schneider and J Heinrich, 1999, HUMAN'S EXPOSURE TO BENZENE AND OTHER AROMATIC HYDROCARBONS : INDOOR AND OUTDOOR SOURCES, Indoor Air 99, Vol. 5, pp. 312~317.
32. J.S.Park, S.Fujii, 1999, EVALUATION OF VOC EMISSION FROM SOLID BUILDING MATERIALS BY DIFFUSION MODEL, Indoor Air, Vol. 5, pp. 161-166
33. Martin A. Cohen, P. Barry Ryan, Haluk Ozkaynak, Paul S Epstein, 1989, Indoor/Outdoor Measurements of Volatile Organic Compounds in the Kanawha Valley of West Virginia, JAPCA, Vol. 39, No, 8, pp 1086~1093
34. John C.S. Chang, Bruce A.Tichenor, Zhishi Guo and Kenneth A. Krebs. (1997), Substrate effects on VOC emissions from a Latex paint, Indoor Air, (7) 241-247.
35. L.Molhave, G.Clausen, B.Berglund, J.DE Ceaurriz, A.Kettrup, T.Lindvall, M.Maroni, A.C.Pickering, U.Risse, H. Rothweiler, B.Seifert and M. Younes. (1997), Total Volatile Organic Compounds(TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, Indoor Air, (7) 225-240.