

실내건축자재 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물 방출 특성에 관한 연구

A Study on the Emission Characteristic of Formaldehyde and TVOC from Indoor Finishing Materials

유형규* 박진철** 이연구***
Yu, Hyung-Ku Park, Jin-Chul Rhee, Eon-Ku

Abstract

Building Materials are composed of very complex chemical compounds which discharge very much formaldehyde and TVOC. They cause SBS and SHS in newly-built apartment houses. This is very serious problem in our country.

In this study, we made equipment to measure indoor air pollutants from indoor finishing materials and verified it. Indoor air pollutants from indoor finishing materials like wallpaper, wood flooring, paint, and bond were measured. On the basis of the measurement results achieved, we can estimate emission characteristic of the pollutant from finishing materials.

키워드 : 건축자재, 소형챔버, 폼알데하이드, 총휘발성유기화합물

Keywords : Indoor Finishing Materials, Small Chamber, Formaldehyde, TVOC(Total Volatile Organic Compounds)

1. 서론

1.1 연구의 배경

1970년대 이후 우리사회는 급속한 산업화 및 경제발전을 이루었으나, 다른 한편으로는 환경오염이라는 심각한 문제를 불러 일으켰다. 특히, 현대인은 대부분의 시간을 건물 내에서 생활하고 있음을 고려할 때, 실내공기질은 재실자의 건강과 직결되어 있어 문제가 더욱 심각하다. 건물에서 발생하는 실내공기오염물질은 거주자들의 실내 활동과 건축자재 및 생활용품 등에서 배출되는 오염물질로서, 그 종류로는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 이산화질소(NO₂), 아황산가스(SO₂), 오존(O₃), 미세먼지(PM10), 중금속(Heavy Metal), 석면(Asbestos), 폼알데하이드(HCHO), 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds : VOCs), 미생물성 물질(Microbial Substance), 병원성 세균, 라돈(Rn) 등을 들 수 있다. 또한, 건물의 실내공기질은 오염정도와 오염원의 존재여부 및 환기량과 기상상태에 따라 달라지며, 실내에서의 작업

종류와 행위에 따라 약 900여종 이상의 다른 오염물질이 발생하는 것으로 알려지고 있다¹⁾. 그럼에도 불구하고, 실내공기질은 그 동안 에너지절약 설계 및 시공에 따른 건물의 기밀화와 단열 강화에 따라 환기부족 현상이 생겨 날로 악화되어 가고 있으며, 그나마 환기용 외기는 대기오염이 심각한 지역에서는 정화되지 않은 채 그대로 실내로 도입되고 있는 상황이므로 현대인의 건강을 해치는 가장 중요한 요인이 되고 있다.

건축시공기술과 건축자재의 발전으로 건물은 더욱 고기밀화, 고단열화가 되고 있으며, 이러한 상황에서 거주자는 환기가 충분하지 않은 실내공간에서 다양한 공기오염물질에 노출되어 있다고 할 수 있다. 특히, 최근 신축 공동주택 입주자들 중에는 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감퇴, 아토피성 피부염 등 각종 질환을 호소하는 건물병증후군(Sick Building Syndrome : SBS) 및 새집증후군(Sick House Syndrome : SHS)등의 문제를 일으켜 건강을 크게 위협하고 있는 실정이다.

최근 환경부에서 이와 같은 문제의 심각성을 인식하기 시작하여 2003년 4월에 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”을 제정하여 공포하였고, 2004년 5월 30일부터 시행하고 있다. 이에 따라, 국내 지하역사, 지하상가, 도서

* 정회원, 중앙대학교 대학원, 박사과정

** 정회원, 중앙대학교 건축학부 조교수, 공학박사

*** 정회원, 중앙대학교 건축학부 교수, 건축학박사

본 연구는 2004년도 환경부 차세대 핵심 환경기술개발사업(주거건물의 실내공기질 향상을 위한 성능평가 및 지침 프로그램개발, 013-041-035)에 의한 것임.

1) Hays, S.M. 외, Indoor Air Quality : Solutions and Strategies, Mc Graw-Hill, Inc., New York, p.1, 1995

관, 박물관, 미술관, 의료기관, 실내주차장, 터미널 및 대합실, 보육시설, 장례식장, 찜질방, 대형상가 등 17개 다중이용시설의 관리책임자는 환기설비현황, 실내공기질 측정결과를 매년 1월 31일까지 시도지사에게 보고하여야 하며, 여기에 100세대 이상의 신축공동주택을 포함하여 폼알데하이드 및 VOCs 등의 오염물질을 측정하여 주민입주 3일전까지 해당 시장·군수·구청장에게 제출하여야 한다.²⁾

2000년 현재 우리나라에 지어진 주택은 단독주택이 37.1%, 아파트, 47.7%, 연립주택 7.4%, 다세대주택 4.1%를 차지하며³⁾, 2003년 우리나라에 건설된 아파트와 연립주택을 포함한 공동주택은 전체 주택의 80.1%⁴⁾로 공동주택이 주택건설에 차지하는 비중이 매우 크다. 공동주택에서의 실내공기오염은 각종 건축자재, 접착제 등에서 방출되는 폼알데하이드와 휘발성유기화합물이 가장 큰 원인으로 알려져 있으며, 공동주택 각 세대는 동일한 공법과 건축자재가 사용되기 때문에, 잘못된 건축자재와 공법으로 인한 피해는 일반 건물과 비교하여 매우 심각하게 나타난다.

이러한 공동주택에서의 실내공기환경 문제는 실내마감에 사용되는 벽지, 마루바닥판, 페인트, 접착제 등과 같은 각종 건축자재에서 방출되는 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물과 유지관리과정의 청소용품이나 세척제로부터 방출되는 오염물질이 원인으로 알려져 있다. 특히 화학기술의 발달과 더불어 복합화합물로 구성된 건축자재의 사용이 증가되고 있음에 따라 문제는 더욱 심각해지고 있다. 특히, 주거용 건물은 사무용 건물에 비해 체적에 대한 벽체 표면적의 비율이 커서, 상대적으로 내장재료가 실내공기질(Indoor Air Quality)에 대해 미치는 영향이 크게 된다.

현재 국내에서도 실내공기환경을 개선하기 위한 방법의 하나로 2004년 2월부터 한국공기청정협회 주관으로 친환경 건축자재 단체품질인증제도가 시행되고 있다. 이 제도를 바탕으로 여러 기관에서 건축자재에서 방출되는 다양한 오염물질 자료를 수집하기 위한 연구가 진행되고 있다. 그러나 건축자재로부터 방출되는 오염물질에 관한 근본적이고도 종합적인 해결책을 제시하는 수준의 연구는 아직까지 매우 미미한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 이와 같이 최근 건물의 실내공기질의 중요성이 부각됨에 따라 실내 오염물질 중 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물(Total Volatile Organic Compounds ; 이하 TVOC)을 중심으로 각종 건축자재에서 발생하는 오염물질을 정밀 측정하였다.

1.2 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 건물에서 발생 가능한 실내공기오염물질 중 건축자재로부터의 발생원과 인체에 미치는 영향 그리고 기준치 등을 분석 및 고찰하였다. 또한, 건축자재

에서 발생하는 폼알데하이드 및 TVOC 방출강도를 측정할 수 있는 시험장치를 한국공기청정협회의 친환경 건축자재 단체품질인증제도 기준에 만족하도록 제작하였다. 이 시험장치를 이용하여 벽지, 마루바닥판, 페인트, 접착제 등의 건축자재 종류별로 오염물질 방출강도를 측정하였으며, HPLC 및 GC/MS/TDS를 통해 정밀 분석하였다.

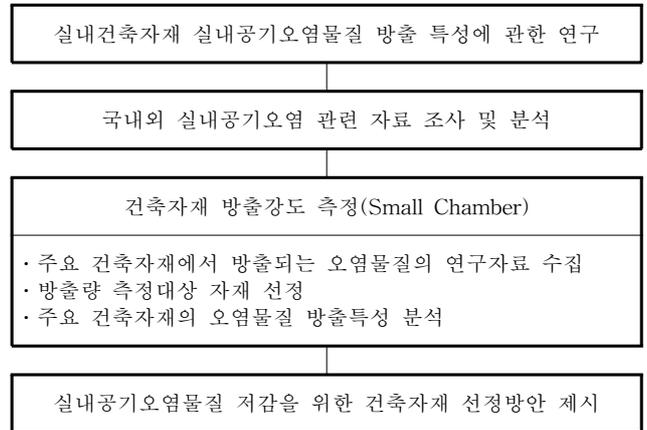


그림 1. 연구흐름도

2. 대상 실내공기오염물질의 특성 및 측정방법

2.1 폼알데하이드(HCHO)

폼알데하이드는 알데하이드류 중에서 분자량이 작고(CH₂O, 분자량 = 30) 끓는점이 -19℃이며, 자극성 냄새(냄새역치 : 0.8ppm)를 갖는 가연성 무색 기체이다. 인화점이 낮아 폭발의 위험성이 있으며, 살균 방부제로 이용되고 물에 잘 녹아 40% 수용액을 포르말린이라고 한다. 살균제나 방부제로 사용되고 피혁제조나 사진, 간판, 폭약 등의 제조에 이용되며, 베클라이트와 같은 석탄계, 요소계, 멜라민계 합성수지 제조 등 공업용으로도 널리 사용된다.

실내 발생원으로는 주로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 우레아수지폼 단열재(Urea Formaldehyde Foam Insulation : UFFI)나 섬유웃감, 실내가구의 도장, 난방 연료의 연소과정, 흡연, 생활용품, 의약품, 접착제 등을 들 수 있다. 따라서 실내에서의 폼알데하이드 농도는 신축 건물에서 높게 나타나며 조리기구, 난방기(heater)등에서도 방출된다. 건축자재에서 발생된 폼알데하이드는 건축자재의 수명, 실내온도 및 습도에 따라 방출량이 영향을 받는다. 또한, 1ppm 또는 그 이하에서 눈, 코, 목의 자극 증상을 보이며, 동물 실험에서는 발암성(비암)이 있는 것으로 나타났다.

2.2 휘발성 유기화합물(VOCs)

휘발성유기화합물은 수많은 유기화합물의 총칭으로 발생원이 매우 다양하며 각 나라마다 휘발성유기화합물에 대해 조금씩 다르게 정의하고 있다. 국내에서는 대기환경보전법 제2조 8의2항에서 "휘발성유기화합물"이라 함은

2) 지하생활공간공기질관리법시행령, 환경부, 2003

3) <http://kosis.nso.go.kr>

4) 통계청 (2003), 건설정보

탄화수소류 중 석유화학제품·유기용제 그 밖의 물질로서 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 고시하는 것을 말한다.

선진외국에서는 휘발성유기화합물에 대한 특성을 분석 평가할 경우에 위해성이 큰 물질별 제한을 하는 경우도 있지만 측정평가에 많은 노력과 비용이 소요되고 또한 그 결과에는 휘발성유기화합물질별 상호 상가 작용 등의 특성을 평가하기 곤란한 점을 착안하여 복합화합물질로서 여러 가지 종류의 휘발성유기화합물 농도의 총합을 TVOC로 정의하여 기준의 설정에 활용하고 있다. 국내에서도 TVOC의 개념을 도입하여, 공기 중에서 가스크로마토그래프에 의하여 n-헥산에서 n-헥사데칸까지의 범위에서 검출되는 휘발성유기화합물을 대상으로 하여, 톨루엔으로 환산하여 정량하고 있다.

건물의 실내에서는 매우 많은 종류의 휘발성유기화합물이 검출되고 있다. 미국의 EPA에서는 학교건물의 실내에서 150여 종의 휘발성유기화합물이 측정되었고 사무소 건물의 경우, 600여 종류의 휘발성유기화합물이 측정된 것으로 보고하고 있다.

실내에서 휘발성유기화합물의 농도가 증가하는 주요 원인은 복합화학물질을 이용한 새로운 건축자재의 보급, 시공과정에서의 노무비 절감, 숙련공의 부족으로 인한 공법의 변화로 많은 양의 접착제 사용을 들 수 있다. 대부분의 건축자재에서는 시공 후 초기단계에 다량의 오염물질을 방출하게 되며, 시간 경과에 따라 방출량이 점차로 감소된다.

표 1에 건축재료 및 제품에서 방출되는 휘발성유기화합물을 정리하였다.

표 1. 건축재료 및 제품에서 방출되는 휘발성유기화합물

재료/제품	방출되는 주요 유기화합물
라텍스 코팅제	메틸에틸케톤, 부탄올, 벤젠, 톨루엔
바닥접착제	데칸, 언데칸, 디메틸벤젠
칩보드	폼알데하이드, 아세톤, 벤잘데히드, 벤젠
Moth crystals	p-디클로 벤젠
Floor wax	데칸, 언데칸, 디메틸옥탄, 에틸메탈벤젠
목재 착색제	데칸, 메틸옥탄, 디메틸노난, 트리메탈벤젠
라텍스 페인트	부탄올, 에틸벤젠, 프로필벤젠, 톨루엔
가구 광택제	디메틸헥산, 트리메틸헥산, 트리메틸헵탈, 에틸벤젠
폴리우레탄 바닥마감	데칸, 언데칸, 부탄올, 에틸벤젠, 디메틸벤젠
공기청정제	데칸, 언데칸, 에틸헵탄, 치환된 방향족

2.3 국내외 건축자재 인증제도

환경라벨링은 제품에 대한 환경성 정보의 공개 및 전달수단으로서 가장 대표적인 제품중심 환경정책도구이다.

국외의 경우, 환경라벨링은 1977년 독일에서 푸른천사(Blue Angel)라는 이름으로 가장 먼저 시작되었으며, 현재 1992년 시작된 우리나라의 환경마크를 비롯하여 유럽 회원국, 일본, 미국 등 전 세계 30여 개국에서 이를 도입, 운영 중에 있다. 선진국에서는 건축자재에 대해서도 시공자 뿐 아니라 일반인들이 친환경적인 제품을 쉽게 구별하여 선택할 수 있도록 건축자재에 대한 인증제도

(labelling)를 실시하고 있으며 현재 북유럽의 핀란드, 독일, 일본 등 다수의 국가에서 실시하고 있다. 선진국에서는 이미 환경라벨링 국제표준화 규격 제 3 유형인 「환경성적표지규격」 제도를 도입·시행 중인데, 그 중 스웨덴은 “Certified Environment Product Declaration” 제도를 1998년부터 도입하여 ISO/TR14025에 가장 근접한 제도로 운영되고 있을 뿐만 아니라 매년 확대하고 있는 추세에 있다.

국내의 경우, 한국공기청정협회에서 HB마크제도를 실시하고 있으며, 실내오염물질인 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물 발생원이 되는 건축자재의 분류 방안으로 건물의 시공시 방출 강도가 낮은 등급의 자재를 선정하도록 유도하고, 적절한 건축자재의 선정으로부터 실내공기질을 개선하기 위하여 건축자재로부터 방출되는 폼알데하이드와 TVOC 농도의 인증등급을 표 2와 같이 설정하였다.

표 2. 건축자재의 인증등급 단위 (mg/m³·h)

구분	일반자재 및 페인트	접착제
최우수	TVOC	0.1 미만
	HCHO	0.03 미만
우수	TVOC	0.1 이상 ~ 0.2 미만
	HCHO	0.03 이상 ~ 0.05 미만
양호	TVOC	0.2 이상 ~ 0.4 미만
	HCHO	0.05 이상 ~ 0.12 미만
일반1	TVOC	0.4 이상 ~ 2.00 미만
	HCHO	0.12 이상 ~ 0.60 미만
일반2	TVOC	2.00 이상 ~ 4.00 미만
	HCHO	0.60 이상 ~ 1.25 미만

KS마크는 가구류의 소재인 합판, 섬유판, 파티클 보드류와 벽지, 벽지용 전분계 접착제 등을 폼알데하이드 방출량에 따라 등급화 하였다. 환경부가 관련 법령의 제정, 환경라벨링 대상제품의 선정 등 제도의 전반적인 사항을 관장하고 민간단체인 환경마크협회에서 환경표지 사용 인증, 인증제품의 사후관리 등 실질적인 집행업무를 수행하고 있다. 환경마크협회는 1992년 4월부터 환경마크제도(환경표지)를 시행하고 있으며 건축자재 분야에 41개 업체(144개 자재)에 대해 인증(페인트, 벽지, 보온단열·흡음재, 실내용 장식 바닥재 등)하며, 제품(원목을 주원료로 한 제품은 제외)에서 발생하는 휘발성유기화합물의 28일 후 방산량은 0.2mg/m³·h이하이거나 7일 후 방산량이 0.4mg/m³·h이하를 기준으로 한다

2.4 건축자재 실내공기오염물질 측정 및 분석방법

1) 건축자재 실내공기오염물질 시험방법의 종류

건축자재로부터 방출 되는 실내공기오염물질은 낮은 농도로 서서히 방출되기 때문에 측정 방법에 따라 큰 오차를 나타낼 수 있다. 건축자재로부터 방출되는 화학물질을 측정하는 방법은 소재측정법, 데시케이터법, 방출시험 챔버법 등으로 구분할 수 있다. 이중 방출시험 챔버법은 미국의 ASTM과 유럽연합(ECA)에서는 챔버방식에 의한

규격을 정하고 있다. 챔버는 유리나 스테인레스로 제작되며, 표 3과 같이 용량이 1m³ 이하인 소형과 1m³ 이상인 대형으로 구분하며, 대형 챔버는 가구류 등을 내부에 설치하여 측정이 가능하도록 구성되어 있는 것이 일반적이다. 현재 국내에서는 20ℓ 소형챔버법을 기본으로 하여 친환경 건축자재 시험방법을 제정하여 시행 중이다.

표 3. 건축자재 시험을 위한 챔버규격

구분	미국 ASTM	유럽 ECA	국내 (친환경건축자재시험방법)
용적	소형챔버	0.02~1.0m ³	0.02m ³ (20L)
	대형챔버	22m ³	-
측정조건	온도	25 ±1℃	25 ±1℃
	상대습도	50 ±4%	50 ±4%
	환기횟수	0.5 ±0.05회/h	0.5 ±0.05회/h

2) 폼알데하이드 분석방법

폼알데하이드를 분석하는 방법은 폼알데하이드를 포함하고 있는 배출가스를 크로모핀산과 아세틸아세톤을 함유한 흡수액에 각각 포집한 후 가온 발색시켜 흡광도를 측정하는 크로모핀산법과 아세틸아세톤법이 있으며, 최근에는 2,4-DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine) 카트리지를 이용하는 2,4-DNPH 유도체화 방법이 사용되고 있다. 2,4-DNPH 유도체를 고성능액체크로마토그래프(HPLC)에 주입하여 자외선흡광검출기의 흡수파장 360nm 에서 검출되는 크로마토그램의 높이 또는 면적 등으로 폼알데하이드의 농도를 구한다.

3) 휘발성유기화합물 분석방법

휘발성유기화합물 시료를 채취하는 방법에는 시료의 채취와 동시에 분석을 할 수 있는 On-Line 측정방법, Canister 또는 일정한 용기를 이용하는 용기채취법, 흡착제나 흡수액을 이용하여 시료를 채취하는 고체흡착용매 추출법과 고체흡착열탈착법 등으로 크게 3가지로 구분할 수 있다. On-Line 측정방법과 용기채취법은 대기 또는 실내공기를 채취할 때 사용하며, 건축자재 휘발성유기화합물 채취는 고체흡착용매추출법과 고체흡착열탈착법을 사용한다. 이중 고체흡착열탈착법은 용기채취법에 비해 대상물질의 범위가 비교적 광범위하고 경제적이며 비극성물질과 극성물질 모두 사용이 가능하다. 국내 실내공기질공정시험방법⁵⁾은 고체흡착열탈착법을 주시험법으로 하며, Toluene 검량선을 이용하여 등가면적으로 C₆~C₁₆ 까지 나타난 물질의 면적을 합하여 TVOC를 계산한다.

3. 건축자재 실내공기오염물질 방출강도 시험방법

3.1. 건축자재 실내오염물질방출 시험장치 구성

건축자재에서 방출되는 폼알데하이드와 TVOC 방출강도를 측정하기 위하여 “한국공기청정협회”에서 제정한 친환경 건축자재 단체품질인증 시험방법 (소형챔버법)을 만족시키는 시험장치를 제작하였다.

항온항습조 내에는 총 8개의 소형챔버를 설치할 수 있도록 2단으로 설계되었으며, 챔버실 외에 재료보관실, 공기공급장치, 공기필터장치, 습도조절 및 분배장치, 유량조절 및 채취실, 항온항습기계실 등이 일체로 구성되어 있다. 항온항습조 내의 공기상태는 25 ± 1℃, 50 ± 5%로 유지되며, 외기를 끌어들이고 나머지는 실내로 배기된다. 항온항습조 내부로 공급되는 외기는 HEPA 필터에 의해 청정하게 공급된다. 그림 2와 그림 3은 건축자재 실내공기오염 방출시험 장비와 일체화 하기위한 항온항습조 설계도면과 시스템 구성도이며, 표 4는 시스템에 설치된 구성장치들이다.

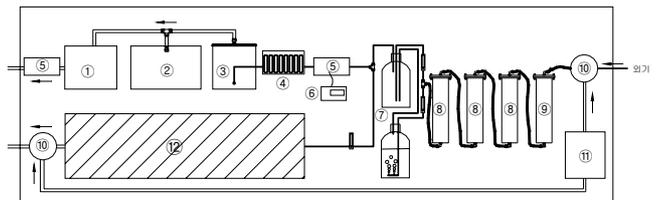
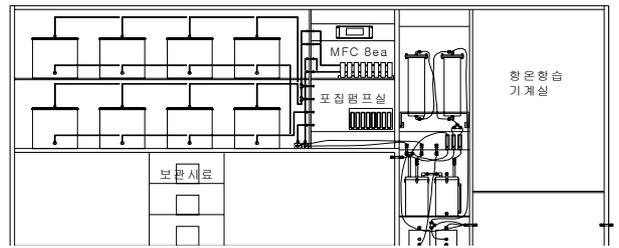


그림 3. 청정공기 공급 시스템 계통도

표 4. 건축자재 오염물질방출 시험장치 각부 설명 및 규격

명칭	규격	명칭	규격
① MFC	Model 3660-Air-500sc cm-1/4 sw×8 ea MR-5000 × 1ea	⑦ 습도 조절기	3차 증류수, TEFLON Sealing
② 채취용 펌프	SIBATA Σ 30 × 6 ea	⑧ 필터 (활성탄)	Ø90, H400, × 3 ea, 8-30 Mesh
③ 소형 챔버	20ℓ, SUS 316, TEFLON Sealing	⑨ 필터 (실리카겔)	Ø90, H400, × 1 ea, 블루 실리카겔
④ 불유량계	200cc × 8 ea, Dwyer	⑩ 공기공급용 펌프	TEFLON-FITTED P.025 PLASTIC PUMP × 2 ea
⑤ 분배기	8 Port	⑪ 공기공급용 펌프 구동용, 30ℓ 압축기	
⑥ 온습도계	TR 72S Thermo Recorder	⑫ 시료 보관실	2540×600×720, 시료 12개 보관

3.2 건축자재 실내공기오염물질 방출강도 시험방법

5) 환경부고시 제2004-80, 2004. 6. 5

본 연구에서 수행한 건축자재 오염물질 방출강도 시험은 한국공기청정협회에서 제정한 친환경 건축자재 시험방법을 준수하였으며, 표 5에 건축자재 오염물질 방출시험 절차를 요약하였다.

표 5. 건축자재 실내공기오염물질 방출강도 시험방법

샘플 준비	· 165×165mm 크기로 자재 당 2개를 1set로 하여 샘플 준비. 동일한 자재 다른 포장에서 채취. · 샘플은 화학물질에 의한 오염과 열, 습기, 빛, 태양광선 등에 의한 영향을 받지 않도록 보호.	
샘플 선택	판넬 보드	· 자재 중앙부분에서 시험편 절단. · 부하율 (2m ² /m ²)에 맞게 2개 샘플 준비
	롤 형태	· 롤의 끝으로부터 2m 안쪽의 위치에서 채취. · 부하율 (2m ² /m ²)에 맞게 2개 샘플 준비.
	액상	· 개봉하지 않은 통에서 300g/m ² 채취. · 부하율 (0.4m ² /m ²)에 맞게 도포. · 필요한 부분 외에는 알루미늄 호일로 감싼후 고정.
설치		

시험편으로부터 방출되는 폼알데하이드 및 TVOC를 정량 및 정성하기 위한 시험장치의 운전조건은 표 6과 같다.

표 6. 시험챔버의 운전 조건

항 목	기호(단위)	실험조건	
		폼알데하이드	TVOC
채취용량	V(ℓ)	4.5	4.5
채취시간	T(min)	30	30
채취유량	Q(mℓ/min)	150	150
환기량	q(m ³ /hr)	0.02	
환기회수	N(회/hr)	0.5	
챔버용적	v(m ³)	0.02	
부하율	L(m ² /m ²)	2 (액상의 경우는 0.4)	
시료크기	A(m ²)	0.0225 × 2개	
온도	Temp.(°C)	25±1	
상대습도	RH(%)	50±5	

설치된 건축자재는 판, 판넬, 보드와 롤 형태의 경우는 7일 후, 페인트 또는 접착제 형태의 제품은 3일 후 챔버 내 공기를 채취하였다. 표 7은 시간경과 후 건축자재에서 발생하는 오염물질 채취 방법을 요약한 것이다.

분석이 끝난 건축자재는 한국공기청정협회 제정 건축자재 인증등급에 따라 평가하였다.

표 7. 건축자재 오염물질 채취방법

포집	HCHO	· 2,4-DNPH Silica Cartridge (Supelco, S10, U.S.A) · 오존 스크루버(Waters, U.S.A)
	VOC's	· Tenax-TA(60/80mesh, Supelco, U.S.A)
샘플링	HCHO	· 디지털 미량펌프(Sibata MP-Σ300) 150ml/min으로 30분 동안 총 4.5ℓ
	VOC's	· 디지털 미량펌프(Sibata MP-Σ30) 150ml/min으로 30분 동안 총 4.5ℓ · 전·후 유량변동은 5%이내
보관	· 4°C이하 냉장고에 보관(차광용 보관용기에 개별포장)	

3.3 건축자재 실내공기오염물질 분석방법

시험방법에 따라 측정된 폼알데하이드와 TVOC의 분석은 실내공기질공정시험방법에 따라 그림 4와 그림 5의 HPLC와 GC/MSD, TDS 장비를 이용하였다. 표 8과 표 9는 각 분석장비의 분석조건을 요약한 것이다.



그림 4. HPLC

그림 5. GC/MSD, TDS

표 8. 열탈착/저온농축-GC/MS 분석조건

저온농축장치	Split mode 25 : 1 -50°C → 12°C/s → 280°C (5min)	
열탈착장치	Splitless mode, Flow : 50ml/min 30°C → 60°C/min → 240°C (5min)	
GC	Agilent 6890N GC	
Detector	Agilent 5973 inert MSD	
Column	HP-VOC 60m, ID 0.2mm, Film 1.12 μm	
Carrier Gas and Flow	He(99.999), 0.8ml/min	
Temp. Program	Initial Temp.	40°C (5min)
	Temp. Program	40°C → 4°C/min → 200°C (10min) → 6°C/min → 250°C
	Final Temp.	250°C (3min)
MS Condition	Mode	EI(electron ion)
	Electron Energy	70ev
	Detection Mode	TIC(Scan), m/z : 35 ~ 350

표 9. HPLC 분석 조건

Detector	UV/VIS 360 nm(0.002 AUFS)
Column	Waters SymmetryTM C18 (4.6×250mm, U.S.A)
Mobile Phase	ACN / Water (60/40, v/v)
Analysis Time	20 min
Injection Volume	20 μℓ
Column Temp.	25 °C(Room Temp.)
Flow Rate	1.0 ml/min

4. 건축자재 오염물질 방출강도 시험결과

4.1 시험장치의 성능 평가

본 연구에서 제작한 시험장치의 성능을 평가하기 위하여 챔버 내의 온도습도조건과 필터의 오염물질 제거 능력을 평가하였다.

그림 6은 건축자재 챔버시험 시험기간 동안의 챔버 내 온도 습도 변화를 30분 간격으로 기록한 것이다. 이 기간 동안의 챔버 내 평균 온도 및 습도는 각각 24.9°C, 50.7%로, 챔버 내 온습도는 매우 우수한 것으로 나타났다.

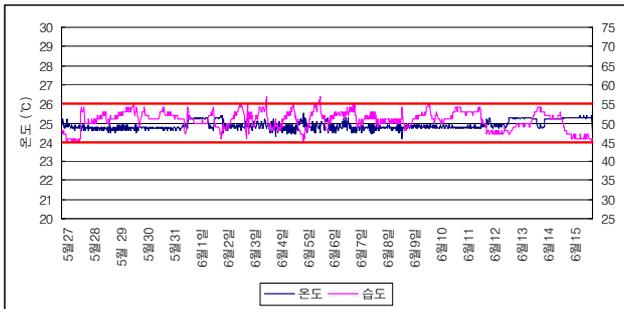


그림 6. 건축자재 시험기간 동안의 챔버 내 온습도 변화

그림 7과 그림 8은 각각 폼알데하이드와 휘발성유기화합물의 제거효율을 보여주고 있으며, 제거효율은 각각 49.6%, 90.5%로 우수한 효율을 나타내었다. 폼알데하이드의 경우 외기의 농도가 매우 낮기 때문에 필터의 효율이 크게 나타나지 않았으나, 배경농도 5µg/m³ 이하를 만족하였다.

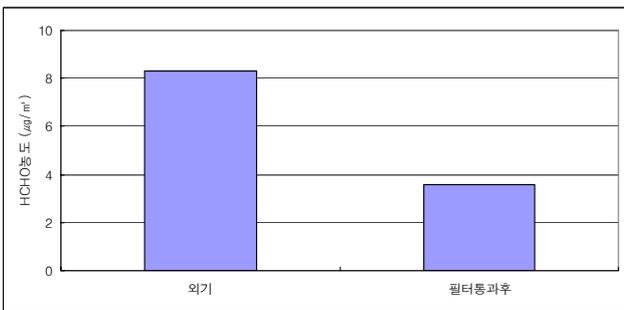


그림 7. 필터 장치의 폼알데하이드 제거 능력

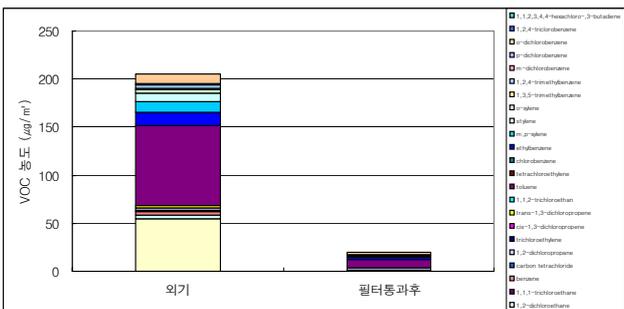


그림 8. 필터 장치의 휘발성유기화합물 제거 능력

본 연구에서는 공동주택에 주로 사용되는 건축자재를 가구용 목재, 마루용 목재, 벽지, 페인트, 접착제 등으로 분류하고, 종류별로 2~4개씩 총 20개의 건축자재를 선정하였다. 각 건축자재는 각각 1개씩 소형챔버를 이용하여 방출강도 시험을 실시하였다. 시험한 건축자재의 종류 및 평가결과는 표 10과 같다.

표 10. 건축자재 폼알데하이드 및 TVOC 방출강도 시험결과

구분	시편 종류	제조국명	HCHO 방출강도 (mg/m³h)	HCHO 인증등급	TVOC 방출강도 (mg/m³h)	TVOC 인증등급	
관, 보드 형태	가구용 목재	A	한국	0.0219	최우수	0.0265	최우수
		B	한국	0.1321	일반1	0.1652	우수
	마루용 목재	A	한국	0.0814	양호	0.2399	양호
		B	한국	0.1633	양호	0.0488	최우수
		C	한국	0.0661	일반1	0.8097	일반1
	롤 형태	비닐바닥판	한국	0.0008	최우수	0.0166	최우수
A			한국	0.0016	최우수	0.0392	최우수
친환경 벽지		B	한국	0.0007	최우수	0.0233	최우수
		C	한국	0.0013	최우수	0.0649	최우수
		A	한국	0.0150	최우수	0.0487	최우수
일반 벽지		B	한국	0.0148	최우수	0.0494	최우수
		C	한국	0.0008	최우수	0.0448	최우수
		D	한국	0.0035	최우수	0.0047	최우수
		한국	0.0029	최우수	0.0150	최우수	
액상		페인트	수성	한국	0.0041	최우수	0.0922
	천연A		독일	0.0082	최우수	0.0250	최우수
	천연B		독일	0.0082	최우수	-	등급 외
	접착제	가구용	한국	0.0144	최우수	0.1222	우수
		마루용	한국	0.0101	최우수	0.2582	우수
		천연 가구용	일본	0.0069	최우수	0.1222	최우수

가구용 목재와 함께 마루용 목재의 경우 폼알데하이드와 TVOC 등급 모두 대체로 낮게 평가되었으며, 벽지의 경우 친환경과 일반 벽지 모두 폼알데하이드와 TVOC 등급이 우수하게 평가되었고, 페인트와 접착제의 경우 폼알데하이드 등급은 우수하나 TVOC 등급은 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다.

그림 9와 그림 10은 목재(가구용, 마루용)와 비닐바닥판의 폼알데하이드 및 TVOC 방출강도 시험결과이다.

폼알데하이드의 경우, 가구용 목재 A와 B는 각각 친환경 건축자재 인증등급 최우수와 일반1로 평가되어 제품간의 차이가 매우 심했다. 마루용 목재 A와 B는 양호, C는 일반1로 평가되어, 가구용 목재와 함께 일반적으로 목재 제품에서의 폼알데하이드 방출강도가 큰 것을 알 수 있다. 반면 비닐 바닥판은 방출량이 거의 없는 것으로 평가되었다.

TVOC의 경우, 가구용 목재 A와 B는 각각 최우수, 우수로 평가되었다. 마루용 목재는 A는 양호, B는 최우수, C는 일반1 등급으로 평가되었다. 비닐바닥판은 TVOC에서도 최우수로 평가되어 폼알데하이드 방출 등급과 마찬가지로 실내공기오염물질 방출이 적은 제품임을 확인하였다.

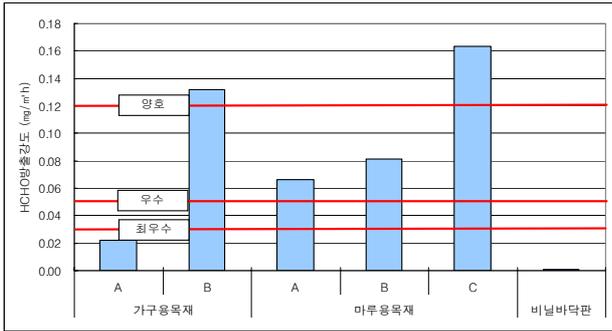


그림 9. 목재 및 비닐바닥판 폼알데하이드 방출시험 결과

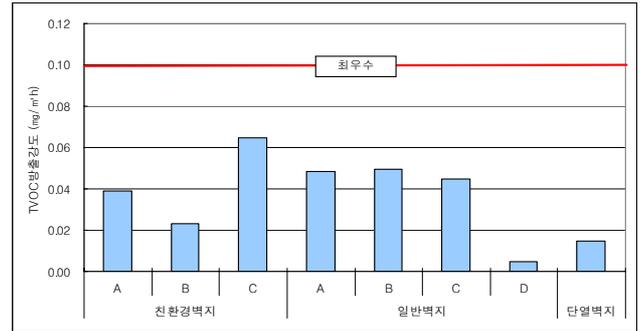


그림 12. 벽지의 TVOC 방출시험 결과

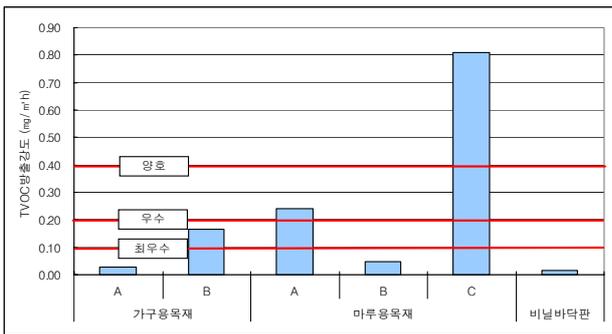


그림 10. 목재 및 비닐바닥판 TVOC 방출시험 결과

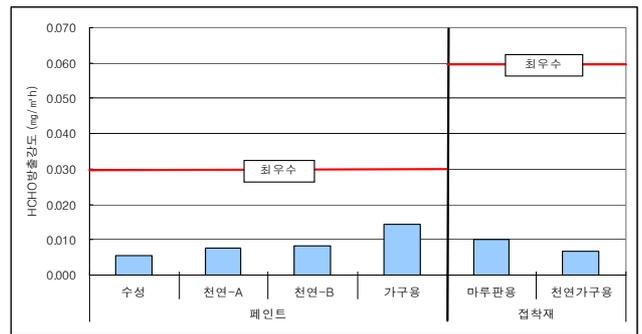


그림 13. 페인트 및 접착제의 폼알데하이드 방출시험 결과

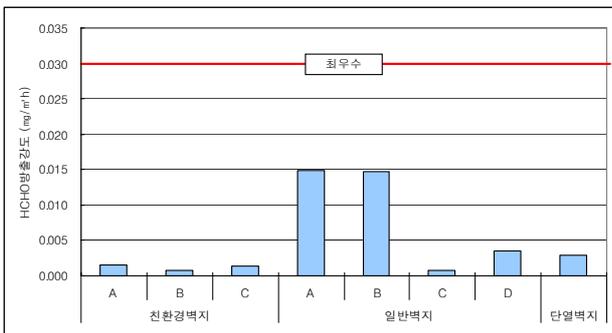


그림 11. 벽지의 폼알데하이드 방출시험 결과

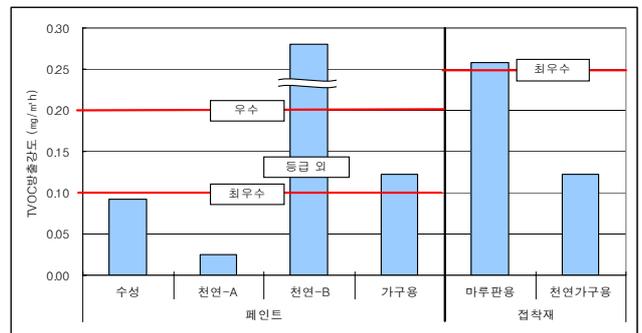


그림 14. 페인트 및 접착제의 TVOC 방출시험 결과

그림 11과 그림 12는 친환경벽지와 일반벽지 그리고 벽지 초배공사에 사용되는 단일벽지의 폼알데하이드 및 TVOC 방출강도 시험결과이다.

벽지의 경우 시험한 제품 모두 폼알데하이드와 TVOC 방출 강도가 낮게 나타나 최우수로 평가되었다.

그림 13과 그림 14는 페인트와 접착제의 폼알데하이드 및 TVOC 방출강도 시험결과이다.

폼알데하이드의 경우, 시험한 제품 모두 최우수로 평가되었다. 그러나 TVOC의 경우, 수성페인트와 천연페인트 A는 최우수, B는 등급 외로 나타났으며, 가구용 페인트는 우수로 평가되었다. 이중 천연페인트 B의 경우 EPA TO-14A에서 규정한 독성 물질인 1,2,4-trimethylbenzene이 TVOC 농도의 8%, p-dichlorobenzene이 TVOC 농도의 44%를 차지하여 다른 건축자재에 비해 현저히 많이 검출되어 TVOC 농도의 대부분을 차지하였다.

접착제의 경우, 마루공사에서 주로 사용되는 접착제에서 0.258mg/m³·h의 다소 높은 방출 강도를 나타내었으나, 한국공기청정협회의 접착제 등급에 따라 우수로 평가되었다. 또한 천연재료로 만든 일본의 가구용 접착제는 최우수로 평가되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 현재 신축공동주택에서 가장 큰 문제가 되고 있는 실내 오염물질 중 폼알데하이드와 TVOC를 중심으로 다양한 건축자재에서 발생하는 오염물질방출량을 측정하였고, 이를 위해 건축자재 오염물질 방출농도를 측정하기 위하여 친환경 건축자재 시험방법 <소형챔버법>에 만족하도록 시험장치를 제작하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 건축자재 시험기간 동안 소형챔버 내 평균 온도 및 습도는 각각 24.9℃, 50.7%로 나타나, 챔버 내 온습도 유지 조건은 매우 우수한 것으로 나타났으며, 폼알데하이드와 휘발성유기화합물의 제거효율 또한 우수한 것으로 나타났다.

2) 목재제품의 경우, 폼알데하이드와 TVOC가 모두 많이 방출되는 것으로 나타났으며, 특히 폼알데하이드의 주 방출원임을 확인하였다.

3) 벽지의 경우, 일반적으로 사용하는 대다수의 제품에서 폼알데하이드 및 TVOC가 거의 방출되지 않았다.

4) 페인트의 경우, 폼알데하이드 방출은 매우 적었고, 주로 TVOC가 다량 방출되고 있었다. 특히, 특정 페인트에서 매우 높은 TVOC 농도를 보이고 있음에 따라 제품 선정시 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

5) 접착제의 경우, 폼알데하이드와 TVOC가 우수하게 평가되었다.

본 연구는 국내에서 생산되는 수많은 건축자재 중 한정된 대상으로 실험한 결과이므로 향후 더욱 다양하고 많은 건축자재들을 대상으로 용도별, 성분별로 분류·시험하여 건축자재 실내공기오염물질 방출강도 데이터베이스 구축이 필요하다. 또한 본 실험은 시험 대상 건축자재의 사용량이 건축자재 성상에 따라 동일하고, 용도에 관계없이 표면이 노출된 상태로 시험하였기 때문에, 실제 공동주택에서 실내공기오염물질의 원인이 되는 건축자재를 판별하기 어렵다. 따라서 향후 건축부위별 마감구성으로 인한 방출특성을 파악하는 연구와 함께, 건물의 시공 단계별로 실내공기질을 평가하여 실내공기오염의 주원인이 되는 건축자재를 찾아냄과 동시에 이를 개선하기 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 실내공기질공정시험방법, 환경부고시 제2004-80호, 2004. 6
2. 유형규 외, 신축공동주택에서의 실내공기오염물질방출 저감 프로세스에 관한 연구, 설비공학 논문집, 제 17 권 제 5 호, 2005
3. 박진철, 주거건축물의 실내공기환경 개선에 관한연구, 대한건축학회 논문집(계획계), 2003. 06
4. 박진철 외, 공동주택에서의 폼알데하이드 및 휘발성 유기화합물 측정연구 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(계획계), 2004. 04
5. 박진철, 이언구, 건축재료에서의 실내공기 오염물질 발생농도 측정연구, 한국건축설비학회지, 창간호, pp. 126-137, 1998
6. 김신도 외, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구, 환경부, 2002
7. 윤동원 외, 오염물질 방출 건축자재 선정관련연구, 환경부, 2003
8. 일본규격협회, 소형챔버법[JIS A 1901], 2003
9. M ISO 16000-3 Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds - Active sampling method
10. Compendium Method TO-17, Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes.
11. Compendium Method TO-14, Determination Of Volatile Organic Compounds (VOCs) In Ambient Air Using Specially Prepared Canisters With Subsequent Analysis By Gas Chromatography.
12. Hays, S.M. 외, Indoor Air Quality : Solutions and Strategies, Mc Graw-Hill, Inc., New York, 1995
(接受: 2004. 8. 4)