

공 학 석 사 학 위 논 문

공동주택 실내 부위별 복층재료의  
VOCs방출에 관한 실험 연구

2006년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

건 축 공 학 과

최 성 우

공 학 석 사 학 위 논 문

공동주택 실내 부위별 복층재료의  
VOCs 방출에 관한 실험 연구

지도교수 임 영 빈

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2006년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

건 축 공 학 과

최 성 우

# 최성우의 공학석사 학위논문을 인준함.

2006년 2월

주 심 공학박사 박 천 석



위 원 공학박사 이 수 용



위 원 공학박사 임 영 빈



# 목 차

1. 서론 .....	1
1.1. 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2. 연구의 방법 및 범위 .....	2
2. 이론적 고찰 .....	5
2.1. 기존의 연구동향 .....	5
2.2. VOCs의 오염물질 방출특성 .....	6
2.2.1. VOCs의 정의와 특성 .....	9
2.2.2. VOCs의 인체 영향 .....	13
2.3. 건축자재의 오염물질방출에 관한 기준 .....	16
2.3.1. 국외 기준 및 현황 .....	16
2.3.2. 국내 기준 및 현황 .....	20
2.4. 건축자재의 오염물질 측정 및 채취·분석방법 .....	22
2.4.1. 오염물질 측정방법 .....	22
2.4.2. 오염물질 채취·분석방법 .....	25
3. 측정개요 및 방법 .....	30
3.1. 측정개요 .....	30
3.1.1. 측정대상 시험체의 제작 .....	30
3.1.2. 실험방법 .....	32
3.2. 측정방법 .....	35
3.3. 측정데이터의 분석방법 .....	35

4. 측정결과 분석 .....	37
4.1. Benzene .....	38
4.2. Toluene .....	39
4.3. Ethylbenzene .....	41
4.4. m,p-Xylene .....	42
4.5. Styrene .....	43
4.6. o-Xylene .....	44
4.7. TVOC .....	45
5. 결    론 .....	47
참고문헌 .....	49
ABSTRACT .....	51

## 표 목차

표 2.1 건축자재에 의해 방출되는 오염물질	8
표 2.2 실내에서 발생하는 오염물질에 의한 인체의 영향	9
표 2.3 공기 중의 유기화학물질의 분류(WHO)	10
표 2.4 n-헥산에서 n-헥사데칸까지의 범위의 VOC 물질	11
표 2.5 실내에서 발생하는 VOCs물질과 발생원	14
표 2.6 대표적인 VOCs물질의 독성	15
표 2.7 TVOC 농도와 건강에의 영향	16
표 2.8 일본건축자재 인증 기준	17
표 2.9 무기성 건축자재 인증 기준	17
표 2.10 건축자재 인증 분류	18
표 2.11 내장재료 방출량 기준	18
표 2.12 접착제 분류등급(GEV)	19
표 2.13 평면형 자재(문, 벽·판재, 라미네이트, 쪽마루)	19
표 2.14 가구 등의 3차원 제품	20
표 2.15 접착제 제품	20
표 2.16 페인트 인증 기준	21
표 2.17 벽지 인증 기준	21
표 2.18 건설용 방수제 인증 기준	21
표 2.19 친환경 건축자재 인증 등급	22
표 2.20 방출시험챔버 규격	25
표 2.21 방출시험챔버법의 종류 및 특징	25
표 2.22 VOCs 포집용 고품 흡착제의 종류와 특성	27
표 2.23 GC/MS의 분석조건	29

표 3.1 시험체의 구성 .....	32
표 3.2 방출시험 측정장비구성 .....	33
표 4.1 측정 기간 중의 온습도 분포 .....	37

## 그림 목차

그림 1.1 연구의 흐름도 .....	27
그림 2.1 Tenax-Ta 고체흡착관 .....	29
그림 3.1 GC/MS and ATD 자동 열탈착기 .....	32
그림 3.2 바닥, 벽, 천장 시험체 .....	33
그림 3.3 포집용 펌프(MP-30, Sibata) .....	34
그림 3.4 실험실 측정장치 .....	34
그림 4.1 Benzene 방출량 .....	38
그림 4.2 Toluene 방출량 .....	39
그림 4.3 Ethylbenzene 방출량 .....	41
그림 4.4 m,p-Xylene 방출량 .....	42
그림 4.5 Styrene 방출량 .....	43
그림 4.6 o-Xylene 방출량 .....	44
그림 4.7 TVOC 방출량 .....	45

# 1. 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

대기, 토양, 수질 등의 수많은 환경오염들은 산업화가 시작되어 발전한 이후로 많은 사람들의 관심의 대상이자 규제 대상이 되어왔다. 그 중에서도 대기오염은 대부분의 사람들이 그 심각성을 익히 알고 있지만, 실내 공기오염이 인간에게 미치는 영향은 인식하지 못하여왔다. 최근 건물이 과거에 비해 더욱 발전해가면서 사람들은 실내에서 생활하는 시간이 하루의 80~90%에 이를 정도로 실내생활의 비중이 높아지고 있는 실정이다.

우리의 주생활공간인 실내는 1970년대 이후 에너지의 절약과 효율을 높이기 위한 측면에서 건물의 고단열화, 기밀화가 이루어져 실내 환기량이 부족해졌으며, 유기화학재료를 사용하는 다양한 건축자재의 등장으로 인해 실내오염은 비약적으로 증가하게 되었다. 이로 인해 실내공기 중의 화학물질들이 복합적으로 작용하여 인체에 크고 작은 영향을 미치게 되는 SBS(Sick Building Syndrome), BRI(Building Related Illness)와 같은 빌딩증후군들이 새롭게 발생하게 되었다.

실내공기오염의 주요 원인으로는 건축자재와 가구, 그리고 가정에서 사용하는 여러 가지 가정용품들에게서 발생하는데, 특히 바닥마감재, 벽지, 접착제, 페인트 등의 건축자재에서 발생하는 오염물질이 가장 큰 비중을 차지한다. 이러한 오염물질들 중 휘발성유기화합물(VOCs)과 포름알데히드(HCHO)가 대표적인 것으로 알려져 있으며 높은 농도에 오랜 시간 노출될 경우 암이나 중추신경 장애와 같이 인체에 막대한 악 영향을 끼치게 된다.

휘발성유기화합물과 포름알데히드의 방출에 대해서 미국, 일본, 유럽 등의 선진국에서는 일찍부터 실내공기질에 관한 측정데이터를 바탕으로 권장기준치가 제시되어 있으며 친환경자재 라벨링 제도와 같은 관리 방안을 시행하고 있다. 그러나 국내에서는 실내오염물질의 측정이나 평가 단계는 아직 미미한 수준에 불과하다. 국내에서는 아직 건축자재의 오염물질 발생에 관한 Database도 체계적으로 분류되어있지 않고 다중이용시설에 관해서만 오염물질 제한 기준치를 설정해놓고 있으며, 공동주택 등의 주거 공간에는 오염물질 과다방출자재의 사용제한과 실내오염물질의 권고 기준이 아직 제정되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 실제 공동주택에서 사용되는 건축자재를 대상으로 마감 공정상의 실내마감부위별 휘발성유기화합물(VOCs)의 방출량을 측정, 분석하여 실내마감단계의 오염물질 방출량의 특성을 파악하여 실내마감재의 오염물질 방출 저감을 위한 기초 자료를 확보하는 것을 목적으로 한다.

## 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 바닥, 벽, 천장에 사용된 접착제와 실내마감재에 대한 실내마감부위별 오염물질 방출량을 측정하기 위해서 공동주택에서 주로 시공되는 실내마감재를 대상으로 하여 실내를 구성하는 주요 부분인 바닥과 벽 및 천장의 3가지 유형으로 나누어 마감 공정별로 휘발성유기화합물의 방출량을 각각 측정하였다.

실험장치는 한국공기청정협회의 소형챔버법을 이용하는 것이 타당하나 실험조건이 여의치 않아 오염물질의 흡착이 적은 스테인리스 재질의 용기

로 제작하였다. 또한 공동주택의 일반적인 환기횟수인 0.5회/h 정도로 설정하여 실험장치 내부로 일정한 양의 공기가 지속적으로 유입되도록 공기 공급장치를 설치하여 외기를 도입시켰으며 실험기간 동안 환기량과 온습도를 지속적으로 측정하였다.

건축자재는 최대한 실제 시공 조건과 맞추기 위해 현장에서 제작한 콘크리트 샘플을 채취하였고 단위면적당 사용되는 접착제의 양을 계산하여 도포한 다음 마감재로 마감하였으며 재료의 표면을 제외하고는 옆면과 뒷면을 밀봉하여 샘플링하였다.

측정은 전체의 휘발성유기화합물을 대상으로 하며 스테인리스 계열의 Tenax-TA 고체흡착관을 이용하여 시료를 채취하였고, 가스크로마토그래피(GC/MS)를 이용하여 환경부에서 고시한 ‘다중이용시설 등의 실내공기질 관리법률’에 명시된 6가지의 휘발성유기화합물과 총 휘발성유기화합물(TVOC)의 양을 정량화하여 산출하였다.

본 연구의 범위와 방법에 의한 연구 진행은 다음 그림 1.1과 같다.

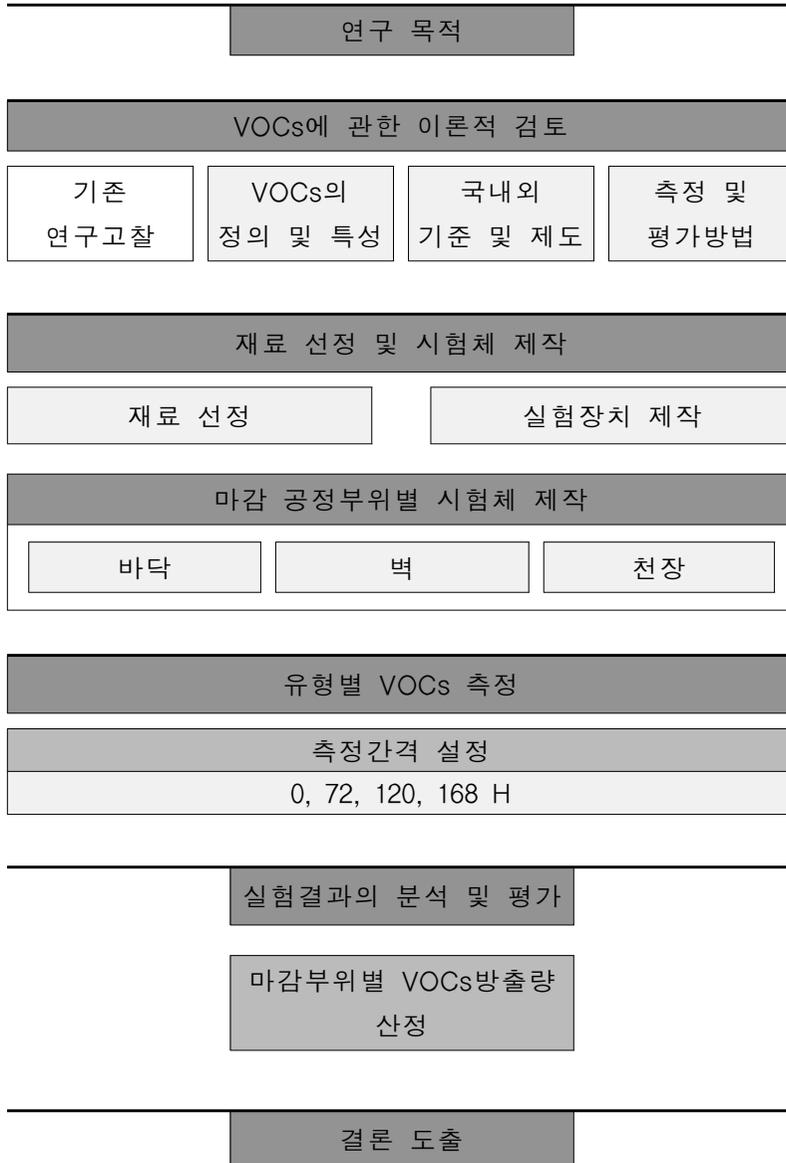


그림 1.1 연구의 흐름도

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 기존의 연구동향

건축자재 및 실내에서 방출되는 휘발성유기화합물에 관한 연구는 과거 국외에서부터 시작하여 현재 국내에서도 활발히 연구가 진행되고 있다.

Thong Q. Dang<sup>1)</sup>은 소형챔버를 이용하여 패널, 마감재 등의 주요 건축자재를 대상으로 하여 휘발성유기화합물의 방출 패턴을 측정하고 측정된 데이터로부터 방출 프로세스를 연구하였다. 그러나 실험의 횟수가 한번밖에 되지 않고 패턴이 정형화 하지 않으므로 방출 프로세스의 신뢰성에 의문이 제기된다.

Funaki<sup>2)</sup>는 가정에서 많이 사용하는 가구와 전자기기를 대상으로 소형 챔버법을 이용하여 휘발성유기화합물의 방출량을 측정하였다. 연구는 소형 가구와 컴퓨터, TV, Remotecontroller, 휴대폰 등의 전자기기를 대상으로 시간의 증감에 따라 VOCs의 방출량을 측정하기 위한 것으로써 전자기기의 전원을 끄고 켜에 따라 약 8배 정도의 방출량의 차이가 있는 것으로 관찰되어졌다.

Tanabe<sup>3)</sup>는 실물챔버 실험을 통해 실내마감재의 오염물질 방출속도를 측정하였다. 바닥 재료는 목재마루판을 사용하였고 벽 재료는 석고보드와 PVC계열의 재료를 사용하였다. 실험 결과 온도 변화에 따라 2가지 모두 방출속도가 변화하였는데 온도가 높아질수록 방출량은 증가하는 경향을

---

1) Building Material Emissions and Indoor Air Quality, Syracuse University

2) Measurement of aldehydes and VOCs from electronic appliances by using a small chamber, Waseda University

3) Measurement of aldehydes and VOCs from building materials with a small chamber ADPAC, Waseda University

보였다. 벽보다 바닥에서 방출량 더 증가하였는데 이는 목재가 큰 영향을 끼친 것으로 보인다.

국내에서는 방승기가 소형챔버를 이용하여 콘크리트, 접착제, 마감재 등의 건축재료의 여러 가지 조합을 대상으로 VOC의 방출강도를 측정하고 평가된 특성을 바탕으로 예측을 실시하였다. 측정된 실험체를 대상으로 실내에 예측식을 적용할 경우 TVOC의 농도를 예측할 수 있으며 측정 농도를 누적하여 예측하는 것이 보다 신뢰성을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

배일오<sup>4)</sup>는 공동주택에 사용되는 필름, 장판, 접착제, 벽지의 단일 건축 재료를 대상으로 경과시간에 따른 VOC와 HCHO의 방출률을 실험하였다. 실험결과 실험된 재료들은 친환경 건축자재 단체 인증 등급에 비해 비교적 낮은 등급의 결과를 보이고 있다. 따라서 기존의 건축자재에서는 아직도 실내오염물질이 많이 방출되고 있으며 이를 규제하기 위한 건축자재의 오염물질 방출량에 대해 법적인 체계가 마련되어야 할 것으로 보인다.

## 2.2 VOCs의 오염물질 방출특성

실내공기환경은 건축자재, 가구, 외부공기의 유입, 가정용품 그리고 거주자까지 매우 복잡하고 다양한 변수로 구성되어진다. 실내공기오염의 발생은 크게 물리적 요소, 화학적 요소 및 생물학적 요소로 나누어진다. 기류, 온도, 습도가 물리적 요소에 속한다면 이산화탄소, 벤젠, 톨루엔, 포름알데히드와 같이 공기 중에 포함되어있는 물질이 화학적 요소에 속하며 미생물, 곰팡이, 바이러스 상 물질이 생물학적 요소에 속한다. 이 중에서

---

4) 배일오의 2명, 건축자재의 포름알데히드 및 휘발성유기화합물질 방출특성에 관한 연구, 대한건축학회 발표논문집 제24권 제1호, 2004. 4

실내공기환경에 가장 큰 영향을 미치는 것은 화학적 요소인데, 여러 가지 화학적 물질은 그 자체로도 실내오염을 일으키지만 다른 화학물질과 결합해 복합적인 반응을 하여 더 큰 오염을 발생시키게 하기도 한다.

실내오염물질의 종류는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 라돈(Radon), 석면(Asbestos), 포름알데히드(HCHO), 휘발성유기화합물(VOCs), 부유분진(TSP) 등이 대표적이다. 이 같은 물질은 주로 건축자재, 연소가스, 가정용품, 재실자 등에게서 발생하게 되는데 이러한 오염물질은 실내에 거주하는 인간에게 심각한 피해를 가져올 수가 있다.

포름알데히드나 VOCs 등에 높은 농도로 장시간 노출되게 되며 호흡기 질환을 비롯하여 폐 질환, 기관지염, 중추신경계 장애, 그리고 심하면 암을 유발하기도 한다. 복합작용을 하는 물질의 한 예로는 부유분진과 아황산가스가 있는데 부유분진과 아황산가스는 각각 따로 존재할 경우 폐 기능 감소를 일으키지만 두 가지 물질이 만나서 복합작용을 할 경우에 시너지 효과를 일으켜 호흡기와 폐에 질환을 유발하게 된다.

다음 표 2.1과 표 2.2는 각각 건축자재에 의해 발생하는 오염물질<sup>5)</sup>, 실내에서 발생하는 오염물질에 의한 인체의 영향을 나타낸다.

---

5) 설비공조냉동위생, 2004. 1

표 2.1 건축자재에 의해 방출되는 오염물질

건축자재	오염원	방출 오염물질
단열자재	섬유상 단열재 (유리판, 암면)	접착용 수지, 섬유상 물질
	폴리우레탄 단열재	전처리물질, 아민, 발포제(CFC)
	스티로폼 단열재	발포제, 스티렌 잔유물
내부 마감자재	수용성 라커, 라텍스	경화제, 솔벤트
	유성페인트, 라커	솔벤트, Monomers
	카펫트(부직포)	솔벤트, 첨가제 및 보조제, 부직포, 처리용 수지
	소나무 목판	목재 추출물
	조각목 바닥재	목재 추출물, 라커, 접착제, 아교
	리놀륨 바닥재	지방산
	코르크 타일	목재 추출물, 합성수지산
	PVC 바닥재료	경화제, 보조제, 솔벤트
	고무 바닥재	항산화제, 경화제, 보조제
	코킹 실린트 자재	실리콘 코킹제
아크릴 코킹제		솔벤트
폴리우레탄		경화제, 솔벤트
폴리에스테르, 중합 합성콘크리트		폴리에스테르 수지, 스티렌
기타 건축자재	칩보드	우레아 포름알데히드 수지
	접착제, 아교	솔벤트

표 2.2 실내에서 발생하는 오염물질에 의한 인체의 영향

오염물질	발생원	건강에 미치는 영향
부유먼지	대기 중의 먼지 유입, 실내바닥 먼지, 담뱃재	눈과 목의 통증, 호흡기 질환, 진폐증, 탄폐증
석면	단열재, 절연재, 석면타일, 방열재	호흡기 질환, 폐질환, 석면폐증
이산화탄소(CO <sub>2</sub> )	각종 난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지	dlad, 두통, 불쾌감, 호흡기 질환, 호흡곤란
라돈	콘크리트, 흙, 지하수, 화강암	기저포의 유전물질 손상, 폐암
포름알데히드	각종 합판, 본, 가구, 단열재, 소취제, 담배연기, 화장품, 의류	발암 유발, 알레르기, 두통, 피로감, 기억상실, 안면장애
이산화질소(NO <sub>2</sub> )	각종 난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지	호흡기 질환, 폐기능 저하, 감염저항성 감소, 면역성 저하, 기도장애
일산화탄소(CO)	각종 난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지	체조직의 산소운반 장애, 대뇌피질 및 심장 산소 결핍, 협심증, 운동능력 저하, 인지력 저하, 간기능 저하
휘발성유기화합물	페인트, 접착제, 스프레이, 세탁, 왁스, 방향제	마비, 식욕부진, 피로, 기억장애, 간독성, 발암 유발
담배연기	실내흡연	암, 호흡기 및 심혈관 계통 질환, 감염저항성 감소
미생물성 물질	가습기, 에어컨, 냉장고, 애완동물, 왁스, 방향제	피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경계장애
악취	외부유입, 체취, 음식물 부패	식욕감퇴, 구토, 불면증, 알레르기, 정신신경이상
오존	복사기기, 생활용품, 연소기기	기침, 두통, 천식, 알레르기성 질환

### 2.2.1 VOCs의 정의와 특성

휘발성유기화합물은 상온, 상압에서 액체상이나 고체상으로 존재할 수 있지만 대기 중에서는 가스 상으로 존재하는 모든 유기화합물질로 20℃에서 760torr(101.3 kPa)보다는 작고 1torr(0.13kPa)보다 큰 증기압을 가지는 모든 유기화합물질을 말한다. VOCs에 속하는 화합물로는 화합물 그 자체로써 환경에 위해를 끼치는 방향족 탄화수소와 대기 중에서 광화학반응을 일으켜 오존 오염 등의 2차적인 오염을 일으키는 지방족 탄화수소 등 일반 탄화수소와 질소, 산소 및 할로젠원소를 포함하는 비균질탄화수소

(Heterogeneous Hydrocarbon)가 해당된다.

휘발성유기화합물은 물질이 존재 상(Phase)의 형태에 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 VOCs를 비등점에 따라 휘발성(VOCs), 반휘발성(SVOCs), 고체상태(POM : Particle-bound Organic Compounds)로 분류하고 탄화수소류 중 레이드 증기압(Reid Vapor Pressure : RVP)이 10.3 kPa(1.5psia) 이상인 석유화학제품, 유기용제 또는 기타 물질로 정의되고 있다.

VOCs에 대한 특성을 분석 평가할 경우에 위해성이 큰 물질별 제한을 하는 경우도 있지만 측정평가에 많은 노력과 비용이 소요되고 그 결과에는 VOCs물질별 상호 상가 작용 등의 특성을 평가하기 곤란한 점을 착안하여 복합화합물질로서 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 가스크로마토그램에 의하여 n-hexane에서 n-hexadecane까지의 범위에서 검출되는 VOCs를 대상으로 이들 농도를 합산한 값으로 산출한다.

표 2.3 공기 중의 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

표 2.4 n-hexane에서 n-hexadecane까지 범위의 VOC 물질

COMPOUND(SYNONYM)	FORMULA	분자량	끓는점 (°C)	녹는점 (°C)
Chloroform (Trichloromethane)	CHCl <sub>3</sub>	119.38	61.7	-63.5
1,2-Dichloroethane (Ethylene dichloride)	ClCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl	98.96	83.5	-35.3
Methyl chloroform (1,1,1-Trichloroethane)	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	133.41	74.1	-30.4
Benzene (Cyclohexatriene)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.12	80.1	5.5
Carbon tetrachloride (Tetrachloromethane)	CCl <sub>4</sub>	153.82	76.5	-23.0
1,2-Dichloropropane (Propylene dichloride)	CH <sub>3</sub> CHClCH <sub>2</sub> Cl	112.99	96.4	-100.4
Trichloroethylene (Trichloroethene)	ClCH=CCl <sub>2</sub>	131.29	87	-73.0
cis-1,3-Dichloropropene (Trans-1,3-Dichloropropylene)	CH <sub>3</sub> CCl=CHCl	110.97	104.3	-
trans-1,3-Dichloropropene (trans-1,3-Dichloropropylene)	ClCH <sub>2</sub> CH=CHCl	110.97	112.0	-
1,1,2-Trichloroethane (Vinyl trichloride)	CH <sub>2</sub> ClCHCl <sub>2</sub>	133.41	113.8	-36.5
Toluene (Methyl benzene)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	92.15	110.6	-95.0
1,2-Dibromoethane (Ethylene dibromide)	BrCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Br	187.88	131.3	9.8
Tetrachloroethylene (Perchloroethylene)	Cl <sub>2</sub> C=CCl <sub>2</sub>	165.83	121.1	-19.0
Chlorobenzene (Phenyl chloride)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	112.56	132.0	-45.6
Ethylbenzene	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	106.17	136.2	-95.0
m-Xylene (1,3-Dimethylbenzene)	1,3-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	106.17	139.1	-47.9
p-Xylene (1,4-Dimethylxylene)	1,4-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	106.17	138.3	13.3
Styrene (Vinyl benzene)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub>	104.16	145.2	-30.6
1,1,2,2-Tetrachloroethane	CHCl <sub>2</sub> CHCl <sub>2</sub>	167.85	146.2	-36.0
o-Xylene (1,2-Dimethylbenzene)	1,2-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	106.17	144.4	-25.2
1,3,5-Trimethylbenzene (Mesitylene)	1,3,5-(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	120.20	164.7	-44.7
1,2,4-Trimethylbenzene (Pseudocumene)	1,2,4-(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	120.20	169.3	-43.8
m-Dichlorobenzene 1,3-Dichlorobenzene	1,3-Cl <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	147.01	173.0	-24.7
Benzyl chloride (Chlorotouene)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> Cl	126.59	179.3	-39.0
o-Dichlorobenzene (1,2-dichlorobenzene)	1,2-Cl <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	147.01	180.5	-17.0
p-Dichlorobenzene (1,4-dichlorobenzene)	1,4-Cl <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	147.01	174.0	53.1
1,2,4-Trichlorobenzene	1,2,4-Cl <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>3</sub>	181.45	213.5	17.0
Hexachlorobutadiene (1,1,2,3,4,4-Hexachloro-1,3-butadiene)	C <sub>4</sub> Cl <sub>6</sub>	260.8	186	-21.0

### (1) Benzene

벤젠은 방향족 탄화수소로서 많은 화합물의 원료가 되며 에틸벤젠, 페놀, 아닐린, 도데실벤젠, 클로로벤젠 등을 만드는 데 사용된다. 발생원으로 썬는 자동차의 배출가스, 석유의 증발에 의해서 발생하며 실내에서는 건축재료, 세제, 페인트, 살충제 등에서 발생하게 된다.

벤젠은 주로 호흡을 통해서 인체로 흡수되며 미량이지만 피부를 통해 흡수되기도 한다. 체내에 흡수된 벤젠은 지방조직에 분포하게 되며 급성으로 중독될 경우 마취증상이 나타나고 호흡곤란, 맥박의 불규칙을 초래하며 혼수상태에 빠질 수도 있다. 만성중독일 경우에는 백혈구 감소증에 의해 뼈와 골수 조직이 위축되고 적혈구, 백혈구 및 혈소판의 감소를 불러일으키며 재생 불량성 빈혈을 유발하기도 한다.

### (2) Toluene

톨루엔은 공업용 화학약품을 만드는 원료로 쓰이며 실내에서는 담배연기, 건축용 접착제, 세제 등에서 발생하게 되며, 석유난로의 연소과정에서 배출되기도 한다. 톨루엔도 벤젠과 마찬가지로 체내에 호흡기를 통해 흡수가 이루어지며 체내에 40-50%정도가 남게 된다. 흡수된 톨루엔은 지방세포, 간, 신장, 뇌에 주로 분포되어지며 피부와 눈, 목을 자극하고 직접적으로 피부에 접촉 시 탈지작용을 일으키기도 한다. 고농도로 노출될 경우 중추신경계에 이상이 생겨 신체가 마비되고 의식불명에 빠지게 된다. 톨루엔에 오랫동안 노출될 경우 두통, 현기증, 피로감, 평형장애 및 간과 신장에 독성을 끼쳐 암을 유발하기도 한다.

### (3) Xylene

크실렌은 주로 용매, 항공 연료의 성분, 염료·섬유·필름 제조의 원료로 사용된다. 건축 부분에서는 라커나 고무계통의 접착제, 페인트, 살충제 등

에의 사용으로 발생되며 주로 공기를 경유한 호흡기를 통해 인체에 영향을 끼치게 된다. 장기 노출 시 신경계 장애, 성장장애, 태아독성영향, 임신독성 등의 어린 아이와 임신부에게 큰 영향을 미치며 고농도를 노출될 경우에는 코의 점막에 염증을 일으켜 호흡기에 장애나 중추신경계에 마비가 오게 된다.

#### (4) Styrene

스티렌은 석유에서 얻어진 에틸렌과 벤젠으로부터 만들어지는 에틸벤젠을 탈수소화반응시켜 발생하게 되며 합성고무의 중요한 재료로 쓰인다. 스티렌은 주로 플라스틱류·수지류·고무류 등을 만드는 데 사용되며 실내에서는 고무제품, 바닥재, 단열재, 플라스틱류 등에서 주로 발생하게 된다.

주로 호흡기와 피부접촉에 의해 인체에 영향을 미치며 지방세포에 축적된다. 고농도 노출 시 점막자극, 간독성, 폐기능장해, 중추신경장해를 유발시키며 지속적으로 노출될 경우 혈액학적 이상 및 간에 독성을 일으키게 된다.

### 2.2.1 VOCs의 인체 영향

휘발성유기화합물은 유지류를 녹이고 휘발성이 커서 공기 중에 증기로 존재하여 스며드는 성질이 있으므로 피부나 호흡기에 의해 흡수되기 쉽고 저농도로 장기노출 될 시 암을 유발하게 된다.

VOCs에 의한 인체의 중독은 VOCs의 화학적 구조, 노출농도와 기간, 다른 VOCs류와의 복합작용, 개인의 감수성, 표적장기의 분포 등에 따라 다르게 나타난다. 벤젠은 체내에 흡수되어 주로 지방조직에 주로 분포하며 급성일 경우 마취 증상이 강하게 나타나고 호흡곤란, 맥박의 불규칙, 졸림 등을 초래하며 혼수상태에 빠질 수도 있다. 톨루엔은 호흡에 의해 체내로 들어오며 피부와 접촉하여 탈지작용을 일으키고 두통, 현기증, 피

로감과 고농도에 노출될 경우 몸이 마비되고 의식불명 상태에 빠지게 된다. 크실렌은 주로 성장장애, 태아독성중독, 임신독성 등 주로 어린 아이들에게 크게 영향을 미친다. 포름알데히드, 1-3부타디엔, PAHs는 각각 백혈병, 비암, 폐암을 유발할 수 있는 가능성이 있으며, PCBs, PTCs, 다이옥신, 퓨란은 인체의 유전적 독성 유발물질로 알려져 있다.

또한 VOCs가 인체에 미치는 장애로는 급성장해와 만성장애로 구분된다. 급성장해로는 VOCs에 의한 독성작용으로 가장 보편적으로 중요하게 다루어지고 있는 중추신경계를 억제하는 마취작용이 있으며, 만성장애로는 VOCs에 의한 비특이적인 중추신경계 작용으로서 급성적으로 나타나는 마취작용에 만성적인 신경행동학적장애인 중추신경계의 장애와 말초신경장애를 들 수 있다. 표 2.5는 실내에서 발생하는 VOCs와 그 발생원을, 표 2.6은 대표적인 VOCs물질의 구체적인 독성을 나타내고 있다.

표 2.5 실내에서 발생하는 VOCs물질과 발생원

종류	주요 발생원
Benzene	연기, 세척 및 청소용품, 페인트, 접착제, 파티클 보드
dichlorobenzene	방향제, 쯤약
Pentachlorobenzene	목재 보존제, 곰팡이 제거제, 제충제
Butyl Acetate	라커
Toluene, Xylene	페인트, 바닥용 왁스, 니스, 등유용 난방기구, 벽지, 코킹 및 실런트 제품
Styrene	담배연기, 코킹제, 발포형 단열재, 섬유형 보드

표 2.6 대표적인 VOCs물질의 독성

구분	독성
벤젠	조혈기능 장애(백혈구 감소, 재생불량성 빈혈), 부정맥, 발암(백혈병)
할로겐화 탄화수소	신독성, 간독성, 심장독성(부정맥, 돌연사), 동물 발암성
염화비닐	근골격계 장애, 간독성, 발암(간, 맥관육종)
메타놀	시력 상실, 대사성 산증
포름알데히드	알레르기성 피부염, 폐기능 저하, 동물 발암성
이황화탄소	뇌병증, 말초신경병증, 관상동맥성 심장병, 시력 장애, 청력 손상, 생식기능 장애, 신독성, 간독성
노르말 헥산	말초신경 장애

여러 종류의 VOCs 물질을 측정·조사하여 실내의 TVOCs가 1-2ppm 을 초과할 경우에 이에 대한 주의가 요망된다. 일반적으로 TVOC의 농도가 400 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 정도에서 재실자는 이에 대한 불쾌감을 느끼기 시작하고, 600 $\mu$ g/m<sup>3</sup>의 농도에서 20% 정도에서는 약간의 자극을 받으며, 가벼운 두통 등의 증상을 호소하게 된다. 1,000 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 정도의 농도에서는 몸으로 느낄 정도의 감각과 냄새 등으로 오염물질을 감지할 수 있는 정도가 된다.

포름알데히드는 주로 피부, 기관지, 눈의 자극 등으로 인체에 영향을 미치며, 2-10ppm 정도에서 두통, 메스꺼움, 어지러움, 구토증세, 기침 등이 유발한다. 예민한 사람인 경우에는 0.1ppm 정도에서도 이러한 증상을 나타낼 수 있으며, 특히 천식 환자에게는 매우 자극적인 물질이다. 또한, 동물을 대상으로 실시한 실험결과에 의하면 고농도에서 암 발생을 유발하는 물질로 알려져 있다. 포름알데히드에 대한 실내 작업환경의 기준은 미국의 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 경우 허용한계농도를 0.3ppm (8시간 기준)으로 제한하고 있으며, 실내 공기환경의 기준은 ASHRAE 62-1989에서 0.1ppm으로 제시하고 있다. 그 외의 물질에 대한 실내농도의 기준은 일반적으로 ACGIH의 허용한계농도

(TLV)의 10% 정도로 설정하고 있는 실정이다.

표 2.7 TVOC 농도와 건강에의 영향

분류	TVOC 농도 (mg/m <sup>3</sup> )
영향이 없음	< 0.3
건강영향 발생 가능	0.3 - 3.0
건강영향 발생	3.0 - 25
독성 범위	> 25

## 2.3 건축자재의 오염물질방출에 관한 기준

### 2.3.1 국외 기준 및 현황

건축자재의 오염물질 방출에 관한 해외 선진국의 실내공기환경 기준은 유럽 국가와 일본을 중심으로 기준이 제정되어 있다. 현재 국제적으로 단일화된 기준은 없으며 오염물질의 종류에 대한 차이는 거의 없으나 구체적인 수치에 관해서는 차이가 있다. EPA, ISO 등은 국제적으로 통일된 측정방법을 제정하고는 있지만 아직까지 각 나라별로 상이한 측정 및 평가 기준으로 인해 연구 결과 및 기준을 절대적으로 평가하는 데에는 한계가 있는 실정이다.

#### (1) 일본

일본은 최근 가장 실내공기질의 연구가 활발하게 이루어지고 있으며 건설성을 비롯하여 후생성, 노동성 등의 다양한 정부기관에서 긴밀한 유대관계 속에 실내공기오염에 관한 기준을 제정하고 있다. 건설성은 2000년 실내공기환경에 대한 성능평가기준을 제정하고 파티클보드, 복합바닥재, 목재집성판, 합판에서 방출되는 포름알데히드와 VOCs의 양을 3등급으로

구분하여 평가를 하고 있다.

표 2.8 일본건축자재 인증 기준

건축자재	JAS		JIS	
	Classification	Emission Value	Classification	Emission Value
건축바닥용 합판	Fc0	Ave. < 0.5mg/L Max. < 0.7mg/L	none	
	Fc1	Ave. < 0.5mg/L Max. < 0.7mg/L		
	Fc2	Ave. < 0.5mg/L Max. < 0.7mg/L		
MDF, 파티클 보드	none		E0	Ave. < 0.5mg/L Max. < 0.7mg/L
			E2	Ave. < 0.5mg/L Max. < 0.7mg/L
			E3	Ave. < 0.5mg/L Max. < 0.7mg/L

(2) SCANVAC

스웨덴, 노르웨이, 핀란드, 덴마크로 구성된 SCANVAC은 에너지, 건축 환경, 의학 등을 전문으로 하는 학회로써 휘발성유기화합물인 포름알데히드와 총 휘발성유기화합물(TVOC) 농도에 따라 실내공기환경을 3단계로 구분하여 평가<sup>6)</sup>하고 있다.

표 2.9 무기성 건축자재 인증 기준

구분	노출시간	최대허용도(mg/m <sup>3</sup> )		
		AQ1	AQ2	AQ3
TVOC	0.5h	0.2	0.5	*
HCHO	0.5h	0.05	0.1	*

\* 필요에 따라 임의로 정함

건축자재는 오염물질 방출강도에 따라 3단계로 구분한다.

MEC-A (low-emission building materials)

6) 한국공기청정협회, 제17회 공기청정 기술 세미나 자료집, 2000

MEC-B (moderately emitting building materials)

MEC-C (heavy emitting building materials)

표 2.10 건축자재 인증 분류

분류	최대방출강도(20℃, RH 50%)
MEC-A	40 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
MEC-B	100 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
MEC-C	450 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$

(3) 핀란드

핀란드는 오염물질 방출량에 따라 내장재를 M1, M2, M3로 분류한다. 건축재료 생산업자는 제품생산에 적합한 생산시설을 갖추어 인증을 받아야 하며, 재료의 부속품이나 제작과정이 변경된다면 오염물질 방출량을 재평가 받아야 한다.

실내공기질은 S1, S2, S3으로 분류되고 있으며 건축자재 선정과 실내환기설비를 동시에 고려하여야 한다. 실내공기질이 S1이면 자재분류 M1을 적용하고 S2이면 마감재료 분류 M2를 적용한다. S1의 TVOC는  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$  이하로, S2는  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$  이하로 유지되어야 한다.

표 2.11 내장재료 방출량 기준

분류영역	방출량 기준				
	VOCs ( $\text{mg}/\text{m}^3\text{h}$ )	HCHO ( $\text{mg}/\text{m}^3\text{h}$ )	NH3 ( $\text{mg}/\text{m}^3\text{h}$ )	발암성 물질 ( $\text{mg}/\text{m}^3\text{h}$ )	냄새 불만족도
M1	0.2	0.05	0.03	0.005	15%이하
M2	0.4	0.125	0.06	0.005	30%이하
M3	오염물질 방출성능을 모르고 있는 재료 M2에서 제한하고 있는 기준값을 초과하고 있는 재료				

(3) 독일

독일은 연방정부 차원에서 환경, 보건, 경제, 건설, 노동부 등의 관계 정부기관이 참여하는 IAQ위원회를 운영하고 있으며, 1997년 접착제생산회사들이 GEV(Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe)라는 비영리단체를 조직하여 환경라벨링인 EMICODE 등급<sup>7)</sup>을 매기고 있다. 현재 이 등급은 유럽 5개국의 30개 업체의 400여 가지 제품이 인증을 받고 있다.

표 2.12 접착제 분류등급(GEV)

등급	방출량 범위	TVOC (프라이머)	TVOC (모르타르)	TVOC (접착제)
EMICODE EC1	매우 낮음	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
EMICODE EC2	낮음	100-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	200-600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	500-1500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
EMICODE EC3	다소 높음	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상	1500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상

RAL(Deutsche Institut fuer Guetesicherung und Kennzeichnung e.V.: 독일 품질보장 표시 연구소)은 가구, 문, 바닥재 등 자재원료의 50% 이상이 목재가 함유된 완제품에 대하여 Eco-Label인 Blue Angel을 인증하고 있다.

표 2.13 평면형 자재(문, 벽·판재, 라미네이트, 쪽마루)

분류	시작농도(24±2h)	최종농도(28일)
HCHO	-	0.05 ppm이하
유기화합물 (비등점 50-250℃)	-	300 $\text{g}/\text{m}^3$ 이하
유기화합물 (비등점 250℃ 이상)	-	100 $\text{g}/\text{m}^3$ 이하
발암, 유전자변형, 생식위험물질	1 $\text{g}/\text{m}^3$ 이하	1 $\text{g}/\text{m}^3$ 이하

7) 한화진, 선진국의 VOC 규제 및 관리동향, 첨단환경기술, 1997. 7

표 2.14 가구 등의 3차원 제품

분류	시작농도(24±2h)	최종농도(28일)
HCHO	-	0.05 ppm이하
유기화합물 (비등점 50-250℃)	-	300 g/m <sup>3</sup> 이하
유기화합물 (비등점 250℃이상)	-	100 g/m <sup>3</sup> 이하
발암, 유전자변형, 생식위험물질	1 g/m <sup>3</sup> 이하	1 g/m <sup>3</sup> 이하

표 2.15 접착제 제품

분류	3일 농도	최종농도(28일)
TVOC C6-C16	1000 g/m <sup>3</sup> 이하	100 g/m <sup>3</sup> 이하
TSVOC > C6-C22	-	50 g/m <sup>3</sup> 이하
발암물질	총 10 g/m <sup>3</sup> 이하	개별 1 g/m <sup>3</sup> 이하
최저관심농도 제외 TVOC	-	40 g/m <sup>3</sup> 이하

### 2.3.2 국내 기준 및 현황

국내에서는 실내환경기준으로 2004년 ‘다중이용시설등의 실내공기질 관리법’으로 기존의 법이 개정되고 그 대상과 기준을 강화하였다. 별도로 보건복지부에서 공중위생관리법, 교육인적자원부에서 학교보건법을 제정하여 실내공기질 관리를 강화하고 있다.

그리고 건축자재에 관해서는 1992년 4월부터 Eco-Labeling이라는 환경표지제도가 시행되고 있다. Eco-Labeling 제도는 기업 입자에서는 소비자의 욕구를 만족시키는 친환경제품을 개발, 생산하도록 하고 소비자는 환경보전의 활동에 참여하도록 제품에 대한 인식을 심어주도록 하는 것을 목표로써 오염물질을 적게 발생하고 자원절약이 가능한 제품을 승인하는 제도이다.

국내의 인증현황은 1992년 시행된 이래로 업체와 제품면에서 지속적인 증가추세를 보이고 있다. 대상제품은 사무용 가구와 기기, 주택 건설용 자재와 설비, 개인 및 가정용품, 가정용 기기와 가구, 교통·여가·문화관련 제품, 산업용 제품과 장비, 복합용도의 7가지로 나누어진다.

현재 84개의 인증 기준이 고시되어 있으며 이는 크게 환경관련인증과 품질관련인증으로 분류된다. 그리고 재료의 품질규격, 시험성적서 등의 시험방법과 인증 사유를 표기하도록 되어있다.

환경관련인증을 살펴보면 다음 표 2.16과 같다.

표 2.16 페인트 인증 기준

인증요소	인증기준			
	유성도료	수성도료		
		에멀전형	수분산형	기타
휘발성유기화합물 (VOCs, g/L)	308	50	180	100
휘발성방향족탄화수소 (VACs, 중량%)	25	0.1	0.1	0.1

표 2.17 벽지 인증 기준

인증요소	인증기준
휘발성유기화합물 (mg/m <sup>3</sup> )	20
포름알데히드 (mg/L)	2

표 2.18 건설용 방수제 인증 기준

인증요소	인증기준
휘발성유기화합물 (mg/m <sup>3</sup> )	2

한국공기청정협회에서는 친환경 건축자재 단체품질인증 제도를 제정하여 규정에 따른 공인시험기관에서 품질인증시험을 거친 후 결과에 따라 HB마크를 부여한다. 여기에는 건물의 내장재와 접착제, 페인트 등이 적용을 받으며 휘발성유기화합물과 포름알데히드에 관한 주요 기준은 다음 표 2.19와 같다.

표 2.19 친환경 건축자재 인증 등급

구분		일반자재 (mg/m <sup>2</sup> h)	페인트 (mg/m <sup>2</sup> h)	접착제 (mg/m <sup>2</sup> h)
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	0.10-0.20	0.10-0.20	0.25-0.50
	HCHO	0.03-0.05	0.03-0.05	0.06-0.12
표시(3개)	TVOC	0.20-0.40	0.20-0.40	0.50-1.50
	HCHO	0.05-0.12	0.05-0.12	0.12-0.40
표시(2개)	TVOC	0.40-2.00	0.40-2.00	1.50-5.00
	HCHO	0.12-0.60	0.12-0.60	0.40-2.00
표시(1개)	TVOC	2.00-4.00	2.00-4.00	5.00-10.00
	HCHO	0.60-1.25	0.60-1.25	2.00-4.00

## 2.4 건축자재의 오염물질 측정 및 채취·분석방법

### 2.4.1 오염물질 측정방법

건축자재에서 방출되는 VOCs는 낮은 농도로 서서히 방출되기 때문에 측정 시 세심한 주의가 필요하다. VOCs의 농도는 측정용 챔버의 재료와 특성, 건축자재의 생산일, 측정환경(온습도), 흡착재의 종류, 샘플링의 양과 기간과 같은 조건의 영향을 많이 받는다.

건축자재로부터 방출되는 화학물질을 측정하는 방법은 소재측정법, 데

시케이터법, 방출시험챔버법의 3가지로 구분되어 진다. 소재측정법은 건축 자재 내부에 포함된 화학물질의 종류와 농도를 측정하는 방법이며, 데시케이터법은 건축자재의 내부에 함유된 물질의 농도를 측정하는 방법이나 자재의 표면에서 방출되는 화학물질의 농도를 측정하는 방법으로는 부적합하다. 3가지 방법 중에 건축자재의 표면에서 방출되는 VOCs의 농도를 측정하기 위해서는 방출농도시험챔버법이 가장 적절한 것으로 사료되며 실제로 현재 많이 사용되고 있는 방법이다.

#### 1) 소재측정법

건축자재를 파괴, 분쇄하여 그 성분을 측정하는 방법으로써 건축자재를 구성하는 전체 화학물질의 종류와 양을 분석하는 방법으로 사용할 수는 있지만, 실내 공기 중에 방출되는 오염물질을 파악하기에는 어려운 점이 많다.

#### 2) 데시케이터법

이 시험법은 일본의 JAS(Japanese Agricultural Standard)에서 규정한 자재 시험방법으로써 주로 포름알데히드의 방출농도 측정에 사용된다. 이 방법은 용량이 9-11L정도 되는 데시케이터 내부의 온도를 일정하게 유지시키고 그 안에 시험편(15cm×15cm)10매를 위치시켜 HCHO의 포집제로 물에 흡수되어 수용액 상태로 된 것을 일정시간(24시간)이 경과된 후에 아세틸아세톤법에 의한 비색법을 이용하여 농도를 측정한다. 건축자재의 양면과 측면으로부터 방출되는 농도를 측정하게 되므로 자재의 표면에서만 방출이 이루어지는 실내공간에서의 방출특성과는 차이가 있다. 주로 일반합판, 구조용합판, 특수합판, 복합바닥재료 등에 적용되어진다.

### 3) 방출시험 챔버법

일본과 미국, 유럽연합(ECA)에서 사용하고 있는 방식으로써 서로 다른 규격을 정하고 있다. 챔버(Chamber)는 유리나 스테인리스 등 오염물질의 부착이 잘 이루어지지 않는 물질로 제작되며 대형챔버법과 소형챔버법으로 구분된다. 대형챔버법은 오염이 되지 않는 큰 실험실과 같은 공간에 가구류, 자재 등을 내부에 설치, 시공하여 측정하는 방식이며, 소형챔버법은 실내 공간의 재료표면에 방출테스트 장비를 직접 설치하는 방법(FLEC법)과 밀폐된 챔버 내부에 재료를 설치하는 방법(small chamber)으로 구분되어진다. 소형챔버 실험은 측정환경이 완벽하게 제어됨으로써 방출속도와 방출량에 대한 정확한 측정이 가능하나 실제 건물에 적용할 경우 다양한 환경조건을 만족시키지 못하기 때문에 신뢰성이 떨어진다. 또한 시험챔버 크기의 한계로 인해 다양한 자재를 시험할 수 없다는 단점이 있다. 대형챔버법은 소형 챔버의 단점을 보완하기 위해 개발되었으며 이 실험방법은 실제 시공현장과 똑같은 크기의 실을 스테인리스 스틸로 직접 제작하여 그 안에 자재를 설치하여 측정하는 방법이다. 그러나 대형챔버법은 제작비용이 워낙 높으며 소형챔버와 같이 정밀한 환경의 조절이 어렵다는 단점이 있다. 현장 측정 방법으로는 대표적인 것으로 FLEC방법이 있는데 이 방법은 실제 시공현장에서 직접적으로 시료를 채취하는 것으로써 실내 공간 변수의 조절을 통해 다양한 영향요소를 평가할 수 있다. 그러나 실내 오염물질의 원인을 세부적으로 분리시켜 파악이 불가능하고 자재의 화학물질 재방출현상까지 측정되어지므로 개별요소에 대한 파악이 힘들다. 챔버 실험법의 국가별 규격과 방출시험챔버의 종류<sup>8)</sup>는 각각 다음 표 2.20, 표 2.21과 같다.

---

8) 환경부, 오염물질 방출 건축자재 선정관련 연구, 2004

표 2.20 방출시험챔버 규격

규격	내용
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
ASTM D 5116	1990 Standard guide for small-scale environmental Chamber determinations of organic emissions from indoor materials/products
JIS Z 8703	1983 Standard Condition of Sampling
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

표 2.21 방출시험챔버법의 종류 및 특징

종류	용량	측정샘플	장점	단점
소형챔버	1m <sup>3</sup> 이하	건축자재	임의의 제어조건 하에서 방출성분의 분석 및 방출속도 측정가능	챔버 내에서 측정하기 때문에 규격에 맞지 않는 샘플의 측정 불가능
대형챔버	1m <sup>3</sup> 이상	가구류	실제 현장조건 하에서 방출물질의 분석과 방출속도가 측정가능	표면기류속도와 같은 국부적인 환경에 대한 조절이 어려움 소형챔버에 비해 고비용
FLEC	-	실제 현장	제어되지 않은 현장에서 모든 방출원 및 종합적인 방출량 평가가 가능	방출속도의 산정이 어려우며 재방출 현상에 대한 구분이 어려움

#### 2.4.2 오염물질 채취 및 분석방법

휘발성 유기화합물의 시료를 포집하는 방법에는 시료의 포집과 동시에 분석을 할 수 있는 On-Line 측정방법과 Canister 또는 일정한 용기를 이용하는 용기포집법, 흡착제나 흡수액을 이용하여 시료를 포집하는 고체흡착법이나 용매추출법 등으로 구분할 수 있다.

On-line 측정 방법은 일정한 용기나 흡착제를 사용하지 않으며 시료의 저장이 필요 없어 현장에서 직접 측정 및 분석이 가능하다는 장점이 있으나, 분석장비와 장치의 이동이 어려운 단점이 있다. 용기포집 방법은 주로 일반 대기 환경 중의 휘발성 유기화합물의 분석방법으로 사용되고 있다.

용기포집법은 내부에 불활성 물질이 코팅되어있는 Canister를 사용하는 방식으로써 주로 비극성물질을 대상으로 측정한다. 용기포집법은 포집된 시료에 대해서 열탈착 과정이 필요 없지만 시료의 포집과정에서 시료의 오염이 발생할 수 있으며 분석범위 제한되는 등의 단점이 있다.

고체흡착법은 가장 많이 사용되는 방법으로써 흡착제를 충전한 흡착튜브를 이용하여 고체흡착제의 표면에 포집하고자 하는 물질을 흡착시키고 열탈착 시킨 후 분석하는 방법이다. 대상은 VVOCs 에서부터 SVOCs까지 포집이 가능하며, 흡착튜브의 재질은 주로 스테인리스나 유리이며 내부에 고체흡착제가 200mg정도 충전되어 있다. 고체흡착법은 Canister에 비해 대상물질의 범위가 비교적 넓으며 경제적이고 비극성물질과 극성물질 모두 사용이 가능하다. 그러나 C2이하의 저분자 VOCs의 포집에는 부적합하며, 분석을 한번밖에 할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 표2.22는 VOCs 포집용 고형 흡착제의 종류와 특성을 나타내고 있다.

용매추출법은 흡착제를 충전한 포집관에 시료를 포집하는 방법으로 고체흡착법과 유사하지만 열탈착 시키는 고체흡착법과는 달리 추출용매를 이용하여 시료를 회수한다는 점에서 차이가 있다. 또한, 분석횟수에 제한이 있는 고체 흡착법에 비해 용매추출법은 수회의 분석이 가능하고 포집효율이나 용매에 따른 회수율이 좋으며 비교적 간편하고 비용이 적게 든다. 그러나 용매추출법에 사용되는 흡착제는 흡착력이 강하기 때문에 반응성이 큰 물질의 보존할 때는 분해에 따른 손실이 발생할 수가 있다.

표 2.22 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 >C5	> 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 2.1 Tenax-TA 고체 흡착관

VOCs의 분석은 GC/MS를 이용한 가스크로마토그래피 질량분석법이 이용된다. 이 시험방법은 기체시료 또는 기화한 액체나 고체 시료를 운반가스로 이동하여 이를 컬럼(column) 내에서 분리·전개시켜 각 성분을 분석하는 방법으로 실내공기중의 휘발성유기화합물에 대한 정성 및 정량 분석이 가능하다.

분석 과정을 살펴보면 GC/MS의 시료주입부로부터 흡착 튜브 내의 기체, 액체 또는 고체 시료를 도입하면 기체는 그대로, 액체나 고체는 가열, 기화되어 운반기체에 의하여 컬럼 내로 유입되고 시료중의 각 성분은 충전물에 대한 각각의 흡착성 또는 용해성의 차이에 의하여 컬럼 내에서의 이동속도에 의하여 각각 분리되고 컬럼 출구에 접속된 질량분석계를 차례로 통과하게 된다. 질량분석계(Mass spectrometer)는 성분의 양과 일정한 관계가 있는 전기신호로 변환시켜 기록장치(PC)로 보내며 분리된 각 성분에 대응하는 일련의 Peak로 나타나는 크로마토그램(Chromatogram)을 얻을 수 있게 된다. 시료를 컬럼에 주입시킨 후, 그 중의 어떤 성분이 검출되어 피크(Peak)를 보일 때까지의 시간을 머무름 시간(Retention time)이라 하며 이 머무름 시간에 운반기체의 유량을 곱한 것을 머무름 부피(Retention volume)라 한다. 이 값은 어떤 특정한 실험조건 하에서는 그 성분물질마다 고유한 값을 나타내기 때문에 정성분석을 할 수 있으며, 피크면적 또는 피크높이는 시료성분량과 일정한 관계가 있기 때문에 이것에 의하여 정량분석을 할 수 있게 된다. 다음 표 2.23은 GC/MS의 분석조건을 나타낸다.

표 2.23 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×5 $\mu$ m) • Column temp : 40 $^{\circ}$ C (5min)→70 $^{\circ}$ C (5min)→150 $^{\circ}$ C (5min) →200 $^{\circ}$ C (5min)→220 $^{\circ}$ C (5min) • Ramp rate : 5 $^{\circ}$ C/min to 200 $^{\circ}$ C, 10 $^{\circ}$ C/min to 220 $^{\circ}$ C • Column flow : 1ml/min • MS ion source temp : 230 $^{\circ}$ C



그림 2.2 GC/MS and ATD 자동 열탈착기

### 3. 측정개요 및 방법

#### 3.1 측정개요

본 연구에서는 공동주택의 실내마감부위인 바닥, 벽, 천장을 대상으로 하며 시료는 실제 현장 시공방법과 동일한 방법으로 제작을 하였다. 측정 기간은 총 7일로써 2일 단위로 모두 4회 측정을 하였다.

실험장치는 스테인리스 재질로 이루어져 있으며 공기의 공급과 일정한 환기량을 유지하였다. 시료는 오염물질의 채취 방법 중 하나인 고체흡착법을 사용하여 Tenax-TA 튜브에 실험장치 내의 공기를 흡착시키며 흡착된 공기는 가스크로마토그래프를 이용하는 GC-MS로 정성 및 정량 분석을 하였다.

실험에서는 VOCs물질들 중에 주요 규제대상인 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, o-Xylene, Styrene의 6가지 VOCs 물질의 방출량을 정량화하였으며, n-hexane에서 n-hexadecane까지의 총 VOCs의 농도를 합하여 TVOC량을 파악하였다.

##### 3.1.1 측정대상 시험체의 제작

본 연구에서는 공동주택에서 주로 사용되는 실내마감재를 대상으로 하여 바닥, 벽, 천장의 실내 마감부위별 오염물질 방출량을 측정하기 위해서 실내를 구성하는 주요 부분인 바닥과 벽 및 천장의 3가지 유형으로 나누어 이틀 간격으로 휘발성유기화합물의 방출량을 각각 측정하였다.

시험체는 최대한 실제 시공 조건과 근접하기 위해 150×150×50[mm]의 기초 콘크리트 시험체를 제작하고 그 위에 마감모르터를 바른 후 표면을

마감하여 샘플을 제작하였다. 바닥과 벽의 마감재는 부산과 경남, 경북, 경기도에 있는 건설현장 20곳을 조사하여 가장 사용 빈도가 높은 자재를 선정하였다. 바닥은 국내 E사의 목재강화마루 바닥마감재를 선정하였고, 벽은 국내 D사의 합지 계열의 벽지를 사용하였다. 접착제는 두 회사에서 자체 개발한 접착제를 사용하였다. 바닥재와 벽지는 시료를 입수한 후 오염이 되지 않도록 테프론 백에 밀봉하여 상온에 보관하였다.

바닥 시험체는 건설교통부의 표준바닥구조에 준하여 기초 콘크리트 위에 10mm두께의 완충재를 깔고 다시 그 위에 마감모르터를 12mm타설한 후 바닥마감재로 마감하였다. 완충재는 S사의 차음시트를 사용하였고 바닥 접착제는 마감모르터의 표면에 단위면적( $\text{cm}^2$ )당 0.03g을 도포하였다. 목재강화마루는 소형챔버법의 샘플링 방법에 준하여 자재의 중앙에서 150×150[mm]의 크기로 잘라내었다.

벽 시험체는 기초 콘크리트 위에 12mm두께로 마감모르터를 타설하고 건조시킨 후 바닥과 마찬가지로 단위면적( $\text{cm}^2$ )당 0.03g의 접착제를 도포하였으며 벽지의 샘플링은 롤 형상의 시료 2m내부의 중앙 지점에서 시료를 채취하였다.

천장 시험체는 기초 콘크리트에 12mm두께의 마감모르터로 마감한 후 두께 7mm의 합판을 부착하고 합판 위에 단위면적( $\text{cm}^2$ )당 0.03g의 접착제를 도포하였으며 벽과 마찬가지로 롤 형상의 시료 2m내부의 중앙 지점에서 시료를 샘플링하여 부착하였다.

바닥, 벽, 천장 시험체의 시료 부하율은 모두  $1.1\text{m}^2/\text{m}^3$ 이고 각 시험체의 재료와 구성은 다음 표 3.1에 나타나 있다.

표 3.1 시험체의 구성

구분	대상부위	구성 재료
시험체 (1)	바닥 마감	콘크리트[150×150×50mm] + 완충재[10mm] + 마감모르터[12mm] + 바닥 접착제 + 강화마루판
시험체 (2)	벽 마감	콘크리트[150×150×50mm] + 마감모르터[12mm] + 접착제 + 벽지
시험체 (3)	천장 마감	콘크리트[150×150×50mm] + 마감모르터[12mm] + 합판[7mm] + 접착제 + 벽지

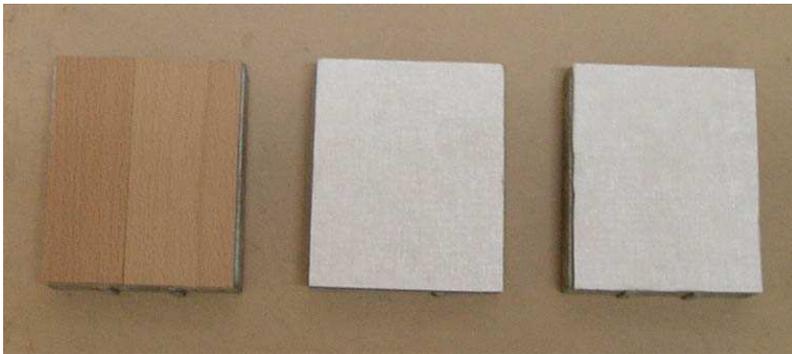


그림 3.1 바닥, 벽, 천장 시험체

### 3.1.2 실험방법

실험장치는 표면 오염이 일어나지 않는 스테인리스 재질이며 내부 용량은 20L이다. 장치 내의 기류의 흐름은 하부에서 공기가 주입되어 시료의 표면 위를 지나서 상부로 빠져나가는 구조이며 실험장치 내부로 일정한 양의 공기가 지속적으로 도입되도록 공기공급장치를 설치하여 공기를 공급하였다. 정상상태에서 실험장치의 농도는 방출시험 조건을 설정하는 인자인 단위면적당 환기량에 좌우되므로 환기량은  $0.5(\pm 0.05)$ 회/h가 되도록 하였다.

3개의 실험장치는 내부로 오염물질이 부착되지 않도록 시험 시작 전 깨끗이 세정을 하여 청결한 상태를 유지하였다. 공기공급장치와 실험장치를 연결하는 튜브는 내화학성이 큰 테프론 재료를 사용하였고 샘플링은 자동으로 적산유량의 측정이 가능한 Sibata의 MP-30 샘플링 펌프를 사용하였다. 시험체는 방출시험챔버의 중앙에 놓고 공기가 시험편의 방출면 위에 균일하게 흐르도록 하였다.

측정 기간 동안 실내 환경의 변화를 살펴보기 위해 48시간 전부터 실험실의 온도와 습도를 측정하였으며 실험 기간에도 30분 간격으로 계속 온도와 습도를 측정하였다. 표 3.2와 그림은 각각 방출실험장비의 구성과 실험장치의 계통도를 나타내고 있다.

표 3.2 방출시험 측정장비구성

측정장비	비고
방출실험체	스테인리스 재질, 용량 20ℓ
공기공급장치	공기공급용환
연결튜브	테프론 튜브
온습도측정장치	온습도측정기록장치 (AM-101)
공기채취장치	샘플링 펌프 (MP-30, Sibata)
채취관	Tenax-TA 고체흡착관
분석장치	가스크로마토그래프 (GC-MS)

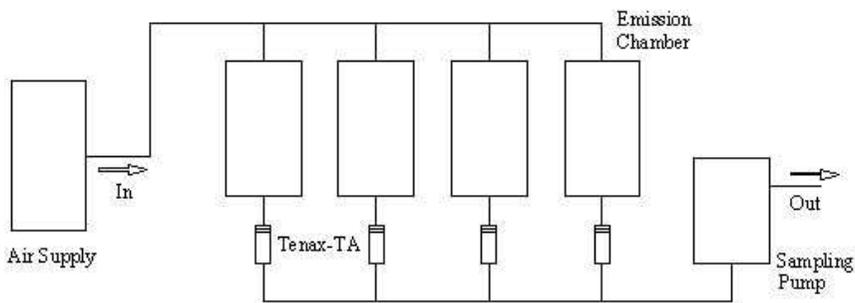


그림 3.2 실험장치의 계통도



그림 3.3 포집용 펌프(MP-30, Sibata)



그림 3.4 실험실 측정장치

### 3.2 측정방법

측정은 바닥, 벽, 천장의 총 3개의 시험체를 대상으로 하며 일주일간의 시간 경과에 따라 각각 4회씩 실험장치 내의 농도를 측정하는 것을 목적으로 한다.

시험체의 농도를 측정하기 이전에 공기를 공급한 다음 1시간 경과 후 방출실험장치 내의 온도와 상대습도가 정상인 것을 확인하고 채취관을 사용하여 먼저 배경농도를 2회 측정하였다.

측정은 전체의 휘발성유기화합물을 대상으로 하며 스테인리스 계열의 Tenax-TA 200mg이 충전된 고체흡착관을 이용하여 샘플링 펌프로 일정한 양의 내부 공기를 빨아들여 흡착시켰다. 개개의 실험장치는 단위시간당 샘플링의 양을 0.167L/min으로 하여 30분간 총 5L의 공기를 채취하였다. 시험체의 VOCs 측정 시기는 2일 단위로 1, 3, 5, 7일의 시험체마다 각각 4회씩 측정을 하였으며 모두 12회의 측정이 이루어졌다.

Tenax-TA 튜브에 흡착된 시료는 분석이 시작되기 전까지 외부의 물질과 접촉이 이루어지지 않게 알루미늄 호일로 감싼 후 테프론 백에 밀봉하였고 외기의 온도나 습도의 영향을 받을 우려가 있으므로 시료의 확산과 오염을 방지하기 위해 4℃로 냉장 보관하였다.

### 3.3 측정 데이터의 분석방법

VOCs 대상물질의 분석에는 자동 열탈착장치(ATD-400, Perkin Elmer, UK)가 GC column으로 직접 연결된 GC/MS를 사용하였다.

분석은 먼저 Tenax-TA 고체흡착관을 시료를 채취한 방향의 역방향으

로 열탈착장치에 장착한 후, 가열에 의해 휘발성유기화합물을 탈착시킨다. 열탈착기 내부에 장착된 저온 농축용 흡착트랩에 시료 가스가 100ml/min의 유속으로 수 분간 300ml 정도의 공기시료를 흡착할 수 있도록 Mass Flow Controller를 조작하고 액체 질소를 사용하여 흡착트랩의 온도를 -120℃까지 떨어뜨린다. 흡착트랩과 가스크로마토그래프를 연결시키는 열탈착장치에 Tenax-TA 고체흡착관을 시료를 채취한 방향의 역방향으로 장착한 후 흡착트랩에 저온 농축시킨다. 그 다음 휘발성유기화합물이 농축된 흡착트랩을 200℃로 가열하고 탈착시켜 GC column으로 도입한다. 휘발성유기화합물의 종류를 확인하는 경우는 질량분석계를 스캔모드(scan mode)로 사용하여 분석하며, 질량 스펙트럼으로 판별한다.

규격이 같은 머무름 시간(Retention Time)간격이라도 질량 스펙트럼에 의해 대응해서 판정하였다. 정량 분석은 질량분석계가 부착된 가스크로마토그래프에 의해 총 이온크로마토그램(Total ion current chromatogram, TIC)으로 분석하였다. 실험에 필요로 VOCs의 농도를 구하기 위해 질량분석이 된 후 성분별 농도와 피크 면적을 확인하고 검량선을 작성하여 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, o-Xylene, Styrene의 방출량을 정량화하였으며 n-hexane에서 n-hexadecane까지의 총 VOCs농도를 합하여 TVOC를 산출하였다.

## 4. 측정결과분석

측정된 결과를 GC/MS에 의해 정성 및 정량 분석한 결과 실험장치의 블랭크 농도는 2회의 실험 모두  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 나타났으며 큰 오차는 발견되지 않았으므로 배경농도는 실험에 영향을 끼치지 않는 것으로 판명되었다.

실험 기간 중 측정된 실험실의 온도와 습도는 다음 표 4.1에 나타나있으며, 온도는 평균  $21^\circ\text{C}$ , 상대습도는 평균 48%로 유지되었다.

표 4.1 측정 기간 중의 온습도 분포

구분	시간										
시간(h)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
온도( $^\circ\text{C}$ )	22.5	23.1	21.2	20.3	18.5	19.9	21.2	22.4	20.7	19.8	19.6
습도(%)	52.3	51.9	50.6	54.2	53.8	52.8	49.7	48.6	48.3	48.1	48.5
시간(h)	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84
온도( $^\circ\text{C}$ )	20.2	20.8	21.9	20.7	20.5	19.7	19.8	20.8	21.6	21.5	20.9
습도(%)	46.5	46.9	46.2	44.3	44.1	47.2	48.7	48.5	47.2	47.0	45.5
시간(h)	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128
온도( $^\circ\text{C}$ )	19.7	19.5	21.0	22.4	21.8	20.5	20.1	18.8	19.8	20.7	21.8
습도(%)	47.2	48.7	48.3	46.1	46.6	47.8	48.5	49.2	48.1	47.2	43.0
시간(h)	132	136	140	144	148	152	156	160	164	168	
온도( $^\circ\text{C}$ )	22.4	22.0	21.2	20.4	19.5	19.6	20.7	21.4	22.0	21.6	
습도(%)	43.6	43.2	46.5	47.5	48.6	48.2	47.6	46.8	45.2	45.9	

## 4.1 Benzene

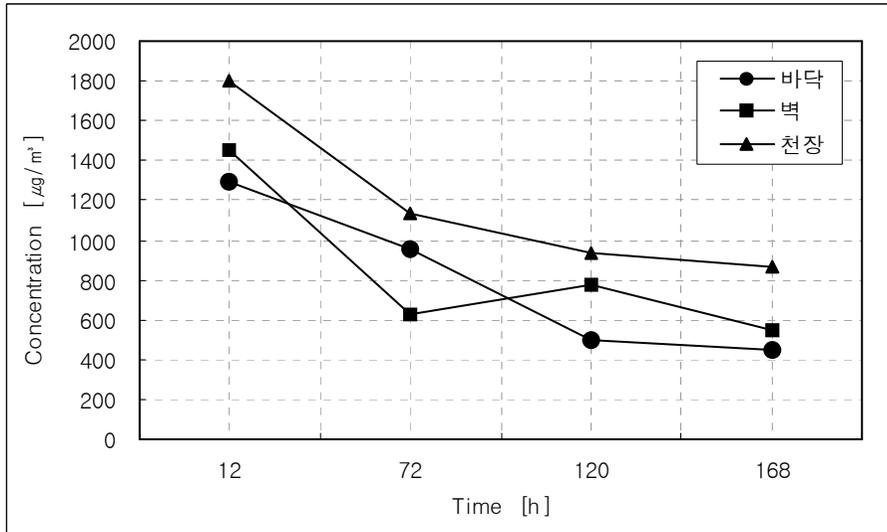


그림 4.1 Benzene 방출량

그림 4.1은 실험기간 동안 Benzene의 방출량을 나타내고 있다. Benzene의 초기 농도는 3가지 시험체 모두  $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 높게 나왔으며, 모두 시간에 따라 서서히 감소하는 경향을 보인다.

바닥은 실험 초기부터 서서히 방출량이 감소하여 5일 이후부터는 안정화되는 것을 알 수 있다. 벽은 시공 직후에서 가장 높은 수치를 보이며 3일 이후로는 방출량이 급격하게 감소하였다.

천장은 시공 직후부터 서서히 감소하는 경향이 있는데 이는 합판에서 발생하는 benzene의 양에 의해 다른 시험체보다 수치가 약간 높게 나왔으며 따라서 방출속도가 원만했을 것으로 보인다.

그림에서 보면 벽과 천장이 바닥보다 초기방출량은 더 크며 3일 이후로 급격한 감소를 보임을 알 수 있다. 이는 벽지에 사용되는 접착제가 바닥재에 사용되는 접착제보다 초기농도가 더 크기 때문인 것으로 사료된다.

## 4.2 Toluene

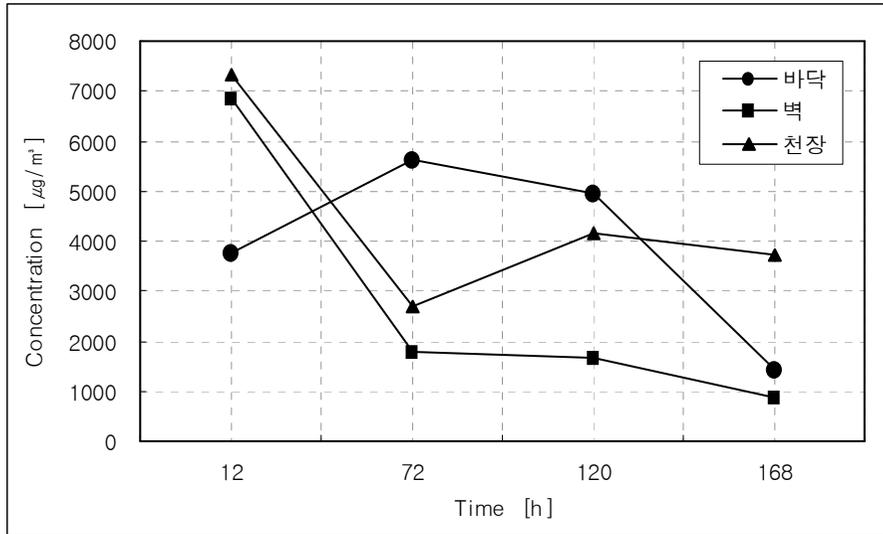


그림 4.2 Toluene 방출량

Toluene의 초기농도는 일본 후생성의 VOCs 방출 기준인  $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 훨씬 상회한다. 그림 4.2에서 보면 바닥은 약  $4000\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도, 벽과 천장은 약  $8000\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도로 Toluene의 초기 방출량을 보이고 있다. 그러므로 Toluene은 실제 건축 시 초기 방출량이 매우 높음을 알 수가 있다.

바닥을 제외한 타 시험체들은 방출량이 3일째에 급격히 감소하며 이후 안정화되고 있다. 이는 벽과 천장의 마감에 사용된 상대적으로 수분이 많은 벽지용 접착제가 기화하면서 방출장치 내의 습도를 높이고 빠른 경화가 이루어진데서 기인했을 것으로 사료된다. 반면에 바닥은 초기값이 작으나 3-7일 사이에 방출량이 크게 증가하는데 바닥 자재의 Toluene 방출 작용이 다른 시험체들에 비해 비교적 느리게 진행된다는 사실을 알 수가 있다. 이는 최종마감재인 강화마루판의 두께와 관계가 있는 것으로 사료된다.

바닥과 벽은 비록 7일째에 안정화 단계에 들어섰다고는 하나 여전히 방

출 기준의 5배에 가까운 수치를 보이고 있으므로 벽과 바닥 건축자재 모두에게 Toluene 방출 저감을 위한 종합적인 대책이 마련되어야 할 것으로 보인다.

### 4.3 Ethylbenzene

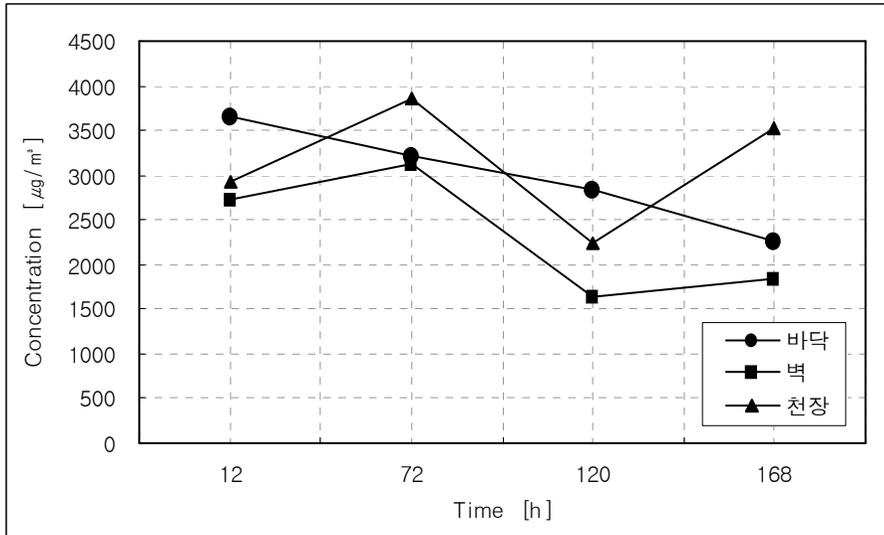


그림 4.3 Ethylbenzene 방출량

Ethylbenzene은 다른 물질에 비해서 비교적 적은 양의 물질이 검출되었다. 그림 4.3은 Ethylbenzene의 시간당 방출 특성을 나타낸 것으로서 Ethylbenzene은 Benzene과 Toluene에 비해 아주 적은 양이 검출된 것을 볼 수 있다. 방출 농도는 전체적으로 처음에는 낮은 수치를 보이다가 시간이 지날수록 점차 증가하거나 비슷한 수준으로 유지되는 양상을 보이고 있다. 3가지 시험체는 모두 평균적으로  $2800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서  $3000\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 Ethylbenzene의 방출량을 보이는데 이는 일본 후생성의 기준치인  $3800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약  $800\text{--}1000\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도 적은 수치를 기록하고 있다.

Ethylbenzene은 여러 건축자재 시험에서 본래 초기 방출량이 크고 갈수록 낮아지는 특성을 보이는데 본 실험에서는 초기 방출량이 적게 나타나고 비교적 안정된 분포를 보이고 있다.

#### 4.4 m,p-Xylene

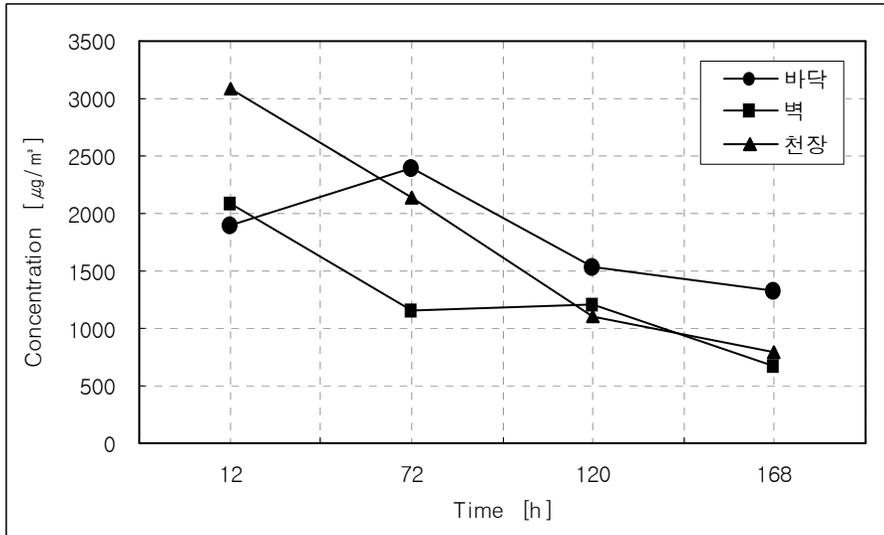


그림 4.4 m,p-Xylene 방출량

바닥을 제외한 나머지 시험체들의 m,p-Xylene 방출량은 초기측정 시 가장 농도가 높았으며 시간이 지나면서 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 그림 4.4에서 보면 천장의 최대 농도는  $3083\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 농도 기준인  $870\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 약 4배 정도 초과하고 있다. 그러나 168시간에서는 농도가 크게 줄어 기준치에 보다 근접하고 있다. 벽의 경우 천장과 비슷한 경향을 보이고 있으나 최대 농도가 천장보다  $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도 적게 나타나며 보다 더 빠른 시간에 안정화가 이루어지고 있다.

바닥의 m,p-Xylene 방출량은 Ethylbenzene과 마찬가지로 초기에는 벽과 비슷한 정도로 낮은 농도를 보이다가 시공 직후부터 3일 사이에 크게 증가하는 것을 볼 수가 있다. 이는 상대적으로 벽 자재용 접착제보다 바닥 자재용 접착제가 더 느린 속도로 경화가 이루어지므로 지연시간만큼 방출강도가 점차 커지는 데에서 기인한다고 볼 수 있다.

## 4.5 Styrene

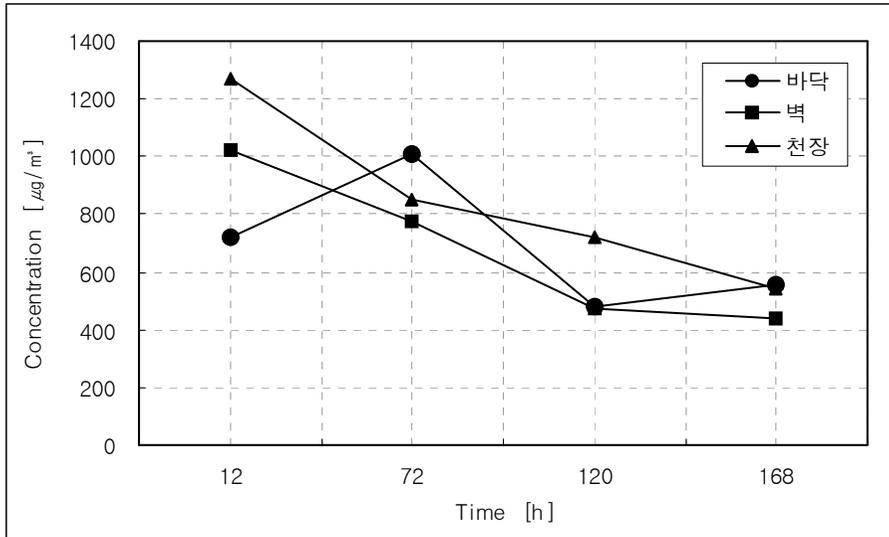


그림 4.5 Styrene 방출량

Styrene의 경우 벽과 천장은 초기농도보다 7일째에 약 절반 정도로 감소하는 것을 알 수가 있다. 전체적으로 물질이 규칙적으로 감소하여 안정화가 빨리 이루어졌으며, 3가지 시험체 모두 7일 경과 후 소량의 Styrene만이 검출되었다.

스티렌의 일본 후생성 기준은  $230\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로써 다른 시험체보다 상대적으로 방출 농도가 낮은 바닥과 벽이 기준치의 열배에 달하는 농도로 나타났다. 벽의 경우 비교적 느린 경화속도로 인해 peak치는 조금 시간이 지난 3일째에 나타났다.

## 4.6 o-Xylene

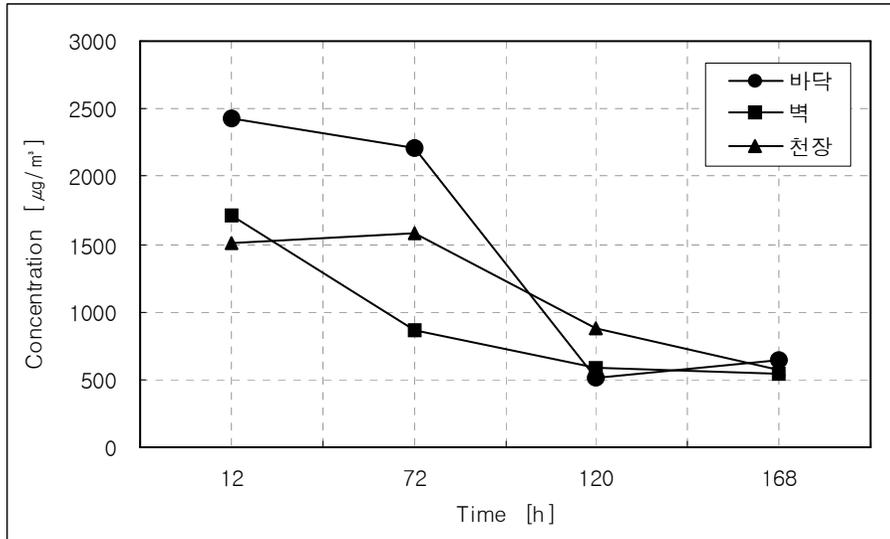


그림 4.6 o-Xylene 방출량

그림 4.6은 o-Xylene은 방출 특성을 나타내는 것으로써 바닥의 peakcl가 약  $2,500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기록하며 상당히 높은 수치를 보였다. o-Xylene의 농도 기준치는  $870\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로써 초기 방출량은 벽과 천장의 경우 2배 정도, 바닥의 경우 약 3배 정도 기준치를 초과하는 것으로 나타났다.

벽과 천장의 방출량이 바닥의 방출량보다 상대적으로 적었고 비슷한 경향의 농도 분포를 보이고 있으며, 벽과 천장의 o-Xylene 방출량은 서서히 감소하며 비교적 완만한 곡선을 그리는데 반면 바닥의 방출량은 3일째까지 높은 농도를 유지하다가 5일째가 되면서부터 급격히 감소하기 시작하였다. 7일째의 방출량은 3가지 시험체 모두  $500\mu\text{g}/\text{m}^3$  안팎을 유지하며 일본 후생성의 농도 기준치를 만족하는 것으로 나타났다. o-Xylene의 경우 다른 측정물질들에 비해 방출이 비교적 빠른 시간에 이루어지는 것으로 사료된다.

## 4.7 TVOC

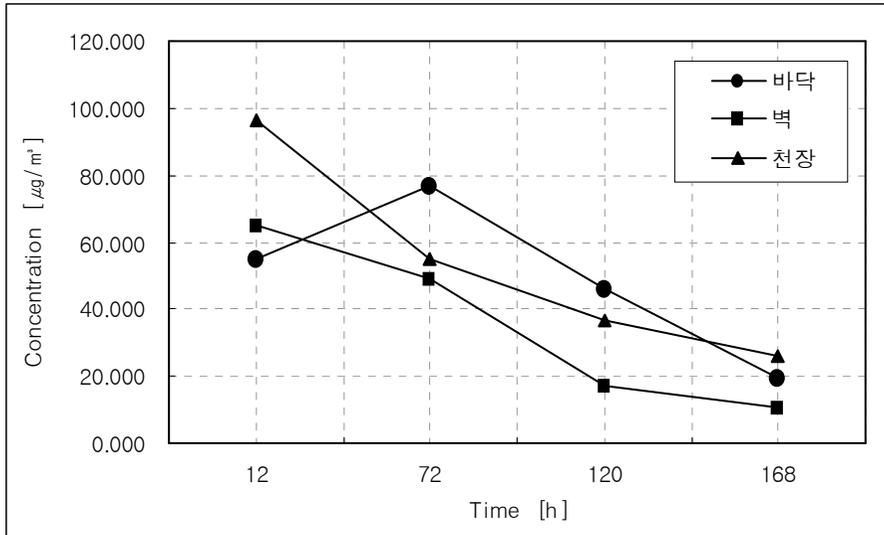


그림 4.7 TVOC 방출량

그림 4.7은 시험체 별로 총 휘발성유기화합물의 방출량을 나타내고 있다. 개개의 VOCs 특성과 비교해 볼 때 TVOC에서도 대략 비슷한 경향을 보이고 있다. 단일 시험체만 놓고 볼 때 천장의 peak치가  $96,500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로써 가장 높게 나타났고 그 다음으로 바닥, 벽의 순서였다. 7일째의 농도는 바닥이  $19,774\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고 벽은  $10,393\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 천장은  $26,115\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

총 TVOC의 방출량은 천장이 시공 직후부터 7일째까지 약 6배 정도 감소하였으며 벽은 약 9배, 그리고 바닥은 3배 정도 감소하였다. 벽과 천장은 감소 특성이 유사하게 나타났고 바닥은 상대적으로 느린 peak치를 보이며 방출속도가 조금 느렸다. 이는 바닥재에 사용하는 접착제가 벽지에 사용되는 접착제보다 수분의 함량이 더 적고 경화 속도가 느리기 때문인 것으로 보인다.

천장과 같은 재료를 사용한 벽이 방출량 면에서 수치가 보다 적었는데

천장재에 포함된 합판의 VOCs 물질 방출 특성이 영향을 끼쳤을 것으로 사료된다. 이는 TVOC의 방출량이 접착제의 영향을 제일 많이 받기는 하지만 재료의 차이에 의해서도 TVOC의 측정값이 달라질 수 있다는 것을 보여준다.

## 5. 결 론

건축 재료에서 방출되는 다양한 오염물질들은 그 자체에서 발생하는 농도도 상당하지만 실내 중의 존재하는 여러 가지 화학물질들이 복합적으로 반응하여 인체에 많은 영향을 끼치고 있다.

현재 실내 오염물질의 저감을 위해 공동주택의 시공 시에 친환경적 제품을 많이 생산하고는 있지만 아직까지는 화학물질의 함유량이 높은 건축 자재의 사용량이 많으며, 건물의 에너지 절약과 효율성에 대한 필요가 증대되면서 단열성과 기밀성이 강조되고 상대적으로 부족한 환기량이 실내 오염의 큰 원인으로 보인다. 따라서 최근 실내 오염물질의 저감을 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며 주로 오염물질 저방출 건축자재의 개발과 실내 환기시스템에 관한 관심이 높아지고 있다.

본 연구는 이러한 실내 오염물질의 저감에 대한 연구방법 중 건축자재에서 발생하는 휘발성유기화합물(VOCs)의 특성을 알아보고자 공동주택의 바닥, 벽, 천장에 대하여 실내마감재 및 접착제를 이용한 복층자재에서의 시간경과에 따른 VOCs의 방출량을 측정하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 천장 시험체와 벽 시험체는 같은 벽지와 접착제를 사용하였음에도 불구하고 방출량은 천장 시험체에서 약 1.5배 정도 더 크게 나타났다. 이는 천장 시험체에 포함되어 있는 합판재가 큰 영향을 끼친 것으로 사료된다. 기존의 연구에서는 TVOC의 주된 방출 원인이 접착제에 의한 영향이 가장 크다고 분석하고 있지만 실험 결과, 마감 재료에 의한 TVOC의 방출량도 접착제에 못지않게 많은 영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다.

(2) Toluene과 Xylene의 경우 벽과 천장에서는 시공 직후 방출량이 가장 높았고 바닥 시험체는 3일과 5일 사이에 가장 높은 농도를 보였다. 바닥 시험체의 peak치가 벽과 천장에 비해 상대적으로 느리게 나타난 것은, 수분이 많이 포함된 벽지용 접착제가 바닥재용 접착제보다 더 빠른 경화가 이루어졌기 때문인 것으로 사료된다.

(3) TVOC의 방출량은 바닥 시험체가 벽과 천장 시험체보다 느린 방출량 분포를 보이고 있는데, 이는 두께가 얇은 벽과 천장 마감재가 상대적으로 두꺼운 바닥 마감재와 비교하여 오염물질의 확산이 느리게 나타난 것이 원인으로 생각된다. 그러므로 최종마감재의 두께는 TVOC의 방출 속도에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

실험결과, 본 논문에서는 벽과 바닥, 천장에 대하여 단일 재료를 사용하여 VOCs의 농도 측정을 하였으므로 다른 재료들을 사용하였을 경우 그 값이 달라질 수가 있을 것으로 보인다. 따라서 추후 좀 더 다양한 자재를 조합한 복합자재에 대한 실험이 이루어져서 실내 마감 부위에 따른 VOCs의 방출량에 대한 정확한 기여도 분석이 이루어져야할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 윤동원, “건축자재에서 발생하는 오염물질과 특성”, 설비공조냉동위생, 2004.
2. 박진철, 이언구, “건축재료에서의 실내공기 오염물질 발생농도 측정연구”, 한국건축 설비학회지, 창간호, 1998.
3. 배일오, 윤동원, 김현철, 건축자재의 포름알데히드 및 휘발성유기화합물질 방출특성에 관한 연구, 대한건축학회 발표논문집 제24권 제1호, 2004. 4
4. 방승기, 손장열, 이광호, “소형챔버법을 이용한 휘발성유기화합물 방출 특성 및 예측에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집 Vol. 4. No. 4, 2004. 12.
5. 김신도, 윤동원: 실내공간의 휘발성유기화합물(VOCs) 특성 파악 및 제어방안에 대한 기초조사, 환경부 보고서, 2000. 12
6. 박진철, “실내공기 오염 측정/진단기술”, 설비공조냉동위생, 2004. 1.
7. 이은택, 성민기, “국내외 실내공기 환경 관련기준 동향”, 설비공조냉동위생, 2004. 1.
8. 한화진, “선진국의 VOC 규제 및 관리동향, 첨단환경기술”, 1997. 7
9. 환경부, 2004, “실내 공기질 공정시험방법”
10. 환경부, 2004, “오염물질 방출 건축자재 선정관련 연구”
11. 한국공기청정협회, 2004, “친환경 건축자재 단체품질 인증 시험방법”
12. 한국공기청정협회, 2000, “제17회 공기청정 기술 세미나 자료집”
13. ASTM D 5116, “Standard Guide for Small - Scale Environmental Chamber Determinations of Organic Emissions From Indoor Materials and Products”, 1997

14. Sin-ich Tanabe, "Measurement of aldehydes and VOCs from building materials with a small chamber ADPAC", Waseda University, 2000.
15. Thong Q. Dang, "Building Material Emissions and Indoor Air Quality", Syracuse University, 2001.
17. R. Funaki, "Measurement of aldehydes and VOCs from electronic appliances by using a small chamber", Waseda University, 2003.
18. H. N. Knudsen, U. D. Kjaer, P. A. Nielsen, P. Wolkoff, Sensory and chemical characterization of VOC emissions from building products :impact of concentration and air velocity, Atmospheric Environment, 1999.
19. <http://www.kict.re.kr/>
20. <http://www.waseda.ac.jp/>

# A Measurement on the Emission of Volatile Organic Compounds from the Indoor Multilayer Building Materials

By Choi, Sung-Woo

Department of Architecture Engineering

Masters Course in Graduate School

Pukyong National University

2006. 2.

## ABSTRACT

Recently, An indoor air pollution has been seriously apprehended, and became striking issue and problem, due to the airtightness of buildings and the building materials contained numerous chemicals. Accordingly, air pollution causes SHS(Sick House Syndrome), BRI(Building Related Illness) to the indoor residents. To solve the problem of an indoor air pollution are focused on using low contaminants emitted building materials and Mechanical ventilation systems. In many factors of indoor air pollution, Building materials emit many of indoor air pollutants. Total VOCs are consist of many individual VOCs, and they contained dangerous substances. So we will look about concentration of Total VOCs and individual VOCs at the same time.

In this Study, we make an experiment of indoor complex building materials to recognize concentration of VOCs. Floors, walls and ceilings are subject to measuring concentration of VOCs, so we made

3 kinds of Sample of building materials and indoor finishing materials, and also made equipment to measure VOCs from the samples. And then we investigated emission of VOCs each sample.

The results of this research are summarized as follows.

(1) In spite of using same type of wallpapers and adhesives at the samples of ceilings and walls, the sample of ceilings showed higher concentration of VOCs than the sample of walls. It seemed that the plywood inside of the sample of ceilings affects to the experiment. In the history of the previous studies, adhesives caused a large majority of the emission of TVOC, however the result of the experiment showed that the indoor building materials had an effect on concentration of TVOC no less than adhesives.

(2) The samples of walls and ceilings showed highest Concentration of Toluene and Xylene at right after the construction. But the sample of floors showed highest Concentration of Toluene and Xylene between 3day and 5day because the watery adhesive of wallpapers hardened more quickly than the adhesive of floors.

(3) The sample of floors emitted TVOC more slowly than the samples of walls and ceilings. Because the sample of floor in comparison with the samples of walls and ceilings is more thick, the diffusion of inner pollutions of the sample of floors progressed more slowly than other samples. Consequently, the thickness of the final

material has an effect on the emission rate of TVOC.

In this study, we used only singular building materials on the samples of floors, walls and ceilings, if the like of these samples are used next study, emission characteristic of VOCs will be changed. So, the experiment using various building materials will be performed and be accomplished accurate analysis of emission of VOCs next study.

Keyword : Indoor Air Quality, Building materials, TVOC(Total Volatile Organic Compounds