

# 실내공기중의 휘발성유기화합물 농도변화에 관한 연구

## A Study on Concentration of Volatile Organic Compounds in the Apartment House

이 윤 규\*  
Lee, Yun-Gyu

### Abstract

Recently, indoor air pollution has been seriously apprehended, and became a striking issue, due to the airtightness of buildings or the misuse of building materials. Especially, SHS(Sick House Syndrome) and MCS(Multi Chemical Sensitivity) which can have bad influences on the resident in an existing apartment house as well as newly constructed apartment house start to attract public attention. The emission rates of VOCs is sensitively affected by the indoor/outdoor condition, construction materials, construction method, and character of ventilation facilities. Therefore, in this study, by measuring the indoor air pollution substance of the existing apartment house, the problem over this tends to be grasped and it is going to secure an improvement methods.

Keywords : Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality, Apartment House

### 1. 서 론

국내의 경우, 최근 신축 공동주택에 입주한 후, 뚜렷한 병명없이 눈이 따끔거리고, 목이나 코가 아프거나, 두통 및 구토 등의 증상이 나타나는 소위 새집증후군(SHS)이 관심의 초점이 되고 있다.

이러한 새집증후군의 원인으로는 건축자재나 가구, 가정용품에서 발생하는 유해화학물질이 그 주요 요소의 하나로 지목되고 있는데, 이러한 화학물질의 주 성분은 합판이나 벽지 등의 건축자재와 페인트, 접착제 등에서 배출되는 각종 휘발성유기화합물(VOCs : Volatile Organic Compounds)로 보고 되고 있다.

근래에 들어 건축자재 관련 기술의 눈부신 발전으로 인하여, 공동주택 등의 실내에 사용되는 대부분의 건축자재가 유해화학물질을 다량으로 방출할 가능성이 높은 복합화학물질로 구성되고 있는 추세에 있기 때문에 거주자는 충분한 환기가 이루어지지 않은 실내공간에서 유해화학물질에 장기간 노출된 상태에서 생활하고 있다고 할 수 있다.

주요 선진국에서는 이러한 새집증후군과 같이 인체에 부정적인 작용을 불러일으키는 유해 화학물질에 대한 연

구가 오래전부터 진행되어 제반 건축자재의 오염물질 방출량 데이터나, 실제 공동주택에 대한 실태조사 결과가 제시되어 있는 반면, 우리나라는 아직 공동주택의 실내공기오염 실태에 대한 기본적인 조사도 이루어져 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 신축후 1년에서 2년정도 경과된 공동주택을 대상으로 휘발성유기화합물을 측정하여, 실제 국내 공동주택의 실내공기중에 존재하는 휘발성유기화합물의 종류와 농도분포에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

### 2. 휘발성유기화합물의 특성 및 유형

실내공기오염이란 다양한 실내공간에서 공기가 오염된 상태를 말하는데, 그 원인은 내부와 외부로부터의 매우 복합적인 오염원에 의해 야기되며, 또한 그 영향은 실내 거주자들의 생명을 위협할 정도는 아니더라도 분명히 건강에 영향을 미치고 있는 것으로 보고 되고 있다.

현대인들은 하루 중 80% 이상을 실내에서 생활하고 있으며, 실내에서 발생하는 오염물질은 인체에 많은 영향을 미치고 있어, 실내오염 물질에 의한 피해정도는 실외에 비해 10배 이상으로 간주되고 있다.

다양한 실내오염문제중에서 최근에는 실내발생 오염물질에 의해 두통, 눈, 코 등의 점막 자극과 신체에 이상 증

\* 한국건설기술연구원 건축연구부 선임연구원

상을 보이는 새집증후군(SHS:Sick Home Syndrome)이 크게 문제가 되고 있으며, 주요 선진국에서는 이미 1980년대 말부터 관심의 대상이 되어 왔다.

새집증후군과 연관이 있는 소위, 빌딩 증후군이란 일반적으로 '몸의 불편함을 느낀다고 말하는 사람이 보통보다 많은 건물에서, 개개의 오염물질이 전부 허용농도 범위내에 있음에도 불구하고 채실자가 두통, 피로, 눈의 아픔 등의 증상으로 불쾌감을 나타내며, 그 원인이 명확하지 않은 경우'를 말한다.

이 증상은 실내환경이 매우 복잡하고 다양한 변수로 구성되어 있고, 같은 건물 내의 많은 거주자에게 나쁜 실내공기질로 인하여 발생되며, 또한 이 증상이 인체에 매우 심각할 뿐만 아니라 많은 사람들이 영향을 받을 수 있다는 사실 때문에 세계보건기구(WHO) 등에서는 이 증상의 원인을 규명하는데 다각적으로 노력하고 있다.

실내오염의 발생원으로는 연소과정, 실내에서의 흡연, 오염된 외부공기의 실내유입 등이 있으며, 최근에는 건축물의 기밀화 및 고단열화를 위해 사용되는 건축자재로부터 수많은 유해화학물질이 발생되고 있다. 또한, 건축물의 유지와 관리 등 일련의 과정에 사용되는 방향제, 목재보존제, 왁스 등도 실내오염의 중요한 발생원이다. 이러한 실내오염물질은 사람들의 호흡기와 순환기에 영향을 미치며, 특히 VOCs 중의 벤젠, 1,3-부타디엔 등의 일부 물질은 발암성을 내포하고 있다.

일반적으로 휘발성유기화합물은 그 용도가 광범위하고 종류도 탄화수소계, 할로겐족, 알콜류, 에스테르류, 알데히드류, 케톤류 등 매우 다양하며, 용제로서의 성질은 첫째로 물질을 녹이는 성질과 둘째로 실온에서는 액체이지만, 휘발하기 쉽다는 두 가지 공통된 물질적인 특징을 가지고 있다.

표 1. 일반적인 유기화합물과 주요 방출원

유기화합물	농도* ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	주요 방출원
벤젠	1,000	흡연, 자동차배기가스, 간접흡연
테트라클로로에틸렌	1,000	착용 및 드라이클리닝 의복
p-디클로로벤젠	1,000	실내 방취제
클로로포름	250	의복 세탁, 식기 세척
메틸렌 클로라이드	500,000	페인트 제거용제
방향족 탄화수소 (톨루엔, 크실렌, 에틸벤젠)	1,000	페인트, 접착제, 휘발유, 연소물질
테르펜 (리모넨, a-피넨)	1,000	방취제, 광택제, 식물류, 섬유유연제, 담배, 식품과 음료
Chlordane, heptachlor	100	개미 살충제
폴리염화비페닐(PCBs)		변압기, 형광등 안정기, 천정타일
폴리시클로방향족 탄화수소(PAHs)	1	연소부산물(흡연, 목재연소, 등유난방기)

\* 비점유 공간에서 측정된 최대치

표 2. 건축재료 및 제품에서 방출되는 오염물질

재료/제품	방출되는 주요 유기화합물
라텍스 코킹제	메틸에틸케톤, 부타논, 벤젠, 톨루엔
바닥접착제	노란, 데칸, 언데칸, 디메틸벤젠
칩보드	포름알데히드, 아세톤, 벤잘데히드, 벤젠
Moth crystals	p-디클로로벤젠
Floor wax	노란, 데칸, 언데칸, 디메틸옥탄, 에틸메탈벤젠
목재 착색제	노란, 데칸, 메틸옥탄, 디메틸노란, 트리메탈벤젠
라텍스 페인트	부타논, 에틸벤젠, 프로필벤젠, 톨루엔
가구 광택제	디메틸헥산, 트리메틸헥산, 트리메틸헵탈, 에틸벤젠
폴리우레탄 바닥마감제	노란, 데칸, 언데칸, 부타논, 에틸벤젠, 디메틸벤젠
공기청정제	노란, 데칸, 언데칸, 에틸헵탄, 치환된 방향족

특히 휘발성유기화합물은 유지류를 녹이고 휘발성이 커서 공기중에 가스로서 존재할 뿐 아니라 스며드는 성질이 있으므로 피부에 흡수되기도 하여, 호흡기로 흡입되면 중추신경 등 주요 기관을 침범하는 등 실내에서 저농도 장기노출시 암의 원인이 되는 발암물질로 알려져 있다.

대부분의 휘발성 유기화합물은 마취 작용을 갖고 있는데, 이것은 신경계의 지방조직에 대한 친화성 때문이다. 일반적으로 한꺼번에 대량을 흡입하면 마취 작용을 나타내며, 마취되지 않을 정도의 작은 양을 오랜 시간 동안 반복하여 흡입하게 되면 만성 중독을 일으킨다. 휘발성 유기화합물에 대한 민감성은 다른 유독물질에서와 마찬가지로 개인차가 있다.

휘발성 유기화합물 중 벤젠, 톨루엔, 크실렌, 사이클로헥산 등의 방향족 탄화수소는 매우 낮은 농도수준이나, 독성이 상대적으로 큰 편이며 톨루엔, 크실렌, 에틸벤젠 순으로 독성이 강하다. 순수한 톨루엔의 공기중의 농도가 600ppm 인 곳에서 8시간 폭로되면 눈, 코, 인후, 피부 등에 발생하는 자극 증상과 중추신경계 억제 작용으로 피로, 졸음, 두통, 어지러움, 우울증 등의 신경증상이 나타난다고 알려져 있다. 또한 저농도의 벤젠에 장기간 폭로되어 만성 중독을 일으키는 경우에는 빈혈, 혈액 응고장애 그리고 백혈구를 파괴하여 감염에 대한 저항력이 떨어지고 발암성 물질로 보고되고 있다.

미국 EPA의 연구에 의하면 10개의 공공건물에서 500가지 이상의 휘발성유기화합물가 검출되었고, 이 농도는 건물의 사용년수에 따라 감소하는데 건물 완성 후 20주까지 약 1/2로 감소된다고 보고(Sheldon et al. 1988)하고 있다.

그러나 새로운 건물이 지어진 후, 건축자재에서 발생하는 휘발성유기화합물은 시간이 경과하면서 그 농도가 상대적으로 줄어들지만, 마감재, 기기, 채실자의 활동 등으로 휘발성유기화합물의 농도가 다시 증가하는 경향을 보이기도 한다. 예를 들어 미국 가정의 90%는 휘발성유기화합물이 포함되어 있는 가정용 살충제를 사용하는 것으

로 나타났고(lummerman and prummond 1984), 또한 휘발성유기화합물의 방사율은 온도와 습도에 따라 변화한다고 알려져 있다(Girman et al.1987).

표 3. 바닥, 벽체 마감재의 휘발성유기화합물(VOCs) 방출량

재료구분		방출량 (mg/m <sup>2</sup> h)	
벽지	비닐과 종이	0.04	
	비닐과 유리섬유	0.30	
	인쇄된 종이	0.03	
벽마감	PVC	0.10	
	직물	1.60	
	직물	0.08	
바닥마감	리노륨	0.22	
	합성섬유	0.12	
	고무	1.40	
	연성 플라스틱	0.59	
	균질 PVC	2.30	
	칠	아크릴 라텍스	0.43
		바니시(순수 에폭시 수지)	1.30
바니시(폴리우레탄,2-component)		4.70	
바니시(내산성)		0.83	

### 3. 공동주택의 휘발성유기화합물 측정

#### 3.1. 측정 개요

본 연구에서는 2004년 6월 고시된 실내공기질 공정시험방법에 따라 Tenax-TA tube를 이용하여 측정대상 오염물질인 휘발성유기화합물을 포집하였으며, 이를 고체흡착 열탈착장치(ATD)와 GC/MS를 이용하여 분석하였다.

표 4. 측정현장, 측정법 및 측정기자재

측정 기간	2004년 4월			
측정 장소	A 단지	B 단지	C 단지	D 단지
측정 세대	6세대	3세대	3세대	6세대
측정 방법	Personal Air Sampler 를 이용하여 Tenax-TA tube에 포집			



그림 1. 현장 측정의 예

#### 3.2. 측정 방법

공동주택에 있어서의 실내 공기중 화학물질의 측정은 실내 공기중의 휘발성유기화합물의 최대 농도를 추정하기 위한 것으로, 30분 환기 후에 대상 실내를 5시간 이상 밀폐한 후, 약 30분간 채취한 농도(mg/m<sup>3</sup>)로 나타낸다. 채취시각은 실내공기질 공정시험방법에 따라 오후 1시부터 5시 사이에 실시하였다.

(1) 측정대상 : 서울지역의 4개 공동주택단지의 33평형 공동주택을 대상으로, 신축후 1년 내외인 곳 12세대와 2년 내외인 곳 6개세대를 선정하여 측정

(2) 측정시기 : 2004년 4월

(3) 측정방법 : 2004년 6월 고시된 공정시험방법을 준용하여 실시

(4) 시료 채취 장소의 선정

시료 채취는 거실의 중앙부위에서 실시하였으며, 거실의 중앙 부근에 적어도 벽으로부터 1 m 이상 떨어진 곳의 높이1.2~1.5 m 위치를 시료 채취 지점으로 선정하였다.

표 5. 측정현장의 온도와 습도조건

측정대상		온도(℃)	습도(%)	발코니	비고	
A단지	가동	3층	25.0	31.3	일반	
		18층	25.1	35.4	확장	
	나동	1층	28.1	36.9	확장	
		11층	26.9	42.3	확장	
	다동	5층	24.5	46.1	일반	
		외기	25.8	27.6	일반	
B단지	가동	2층	25.9	19.8	일반	
		2층	26.0	33.9	일반	공기청정기
	나동	18층	26.4	37.9	확장	공기청정기
		다동	20층	26.1	35.1	일반
외기		19.9	19.8	일반		
C단지	가동	12층	28.4	33.9	일반	
		12층	25.8	25.6	일반	
		16층	26.0	28.1	일반	
	외기		26.1	12.4	일반	
D단지	가동	19층	24.8	47.6	일반	바이오세라믹
		19층	24.3	50.1	일반	
	나동	4층	25.6	49.0	일반	
		15층	24.8	50.1	확장	
	다동	19층	25.9	49.8	일반	거실 방향제
		라동	5층	26.3	45.8	일반
	외기		16.9	77.3	일반	

(5) 시료 채취조건

① 사전환기: 대상세대의 모든 개구부(문, 창호)와 내장 가구의 문등을 모두 열고, 30분간 환기를 실시하였다.

② 밀폐 상태의 확보: 환기 후, 외부에 면한 창 및 문 등의 개구부만을 폐쇄하고, 5시간 이상 밀폐상태를 유지시킨다. 이 경우, 각방의 방문과 부엌의 찬장, 내장가구의 문등은 개방하였다.

③ 시료의 채취: 밀폐 후, 소정의 유량(휘발성유기화합물 100mL/min)으로 약 30분간 실내 공기를 채취하였다.

3.3. 측정 결과

각 세대에서 기본 환경요소인 온도 및 습도를 측정 한 결과는 표5와 같다.

3.3.1 A 단지 공동주택에 대한 측정결과

A 단지 공동주택의 경우, 총 6개 세대와 외기에서 측정이 이루어졌다. 휘발성유기화합물에 대한 검출결과를 살펴보면, 총휘발성유기화합물(TVOC)은 나동 1층A, 나동 1층, 나동 11층 세대가 일본 후생노동성 권장목표치인 0.4mg/m<sup>3</sup>를 초과하는 것으로 나타났다.

또한 나동 1층A 세대의 휘발성유기화합물에 대한 검출 결과가 다른 세대보다 매우 높은 것을 볼 수 있는데, 이는 나동 1층A 세대의 경우, 실내 공기질 측정전에 입주자가 난방을 가동하여 실내온도가 다른 세대에 비하여 높았기 때문으로 보인다.

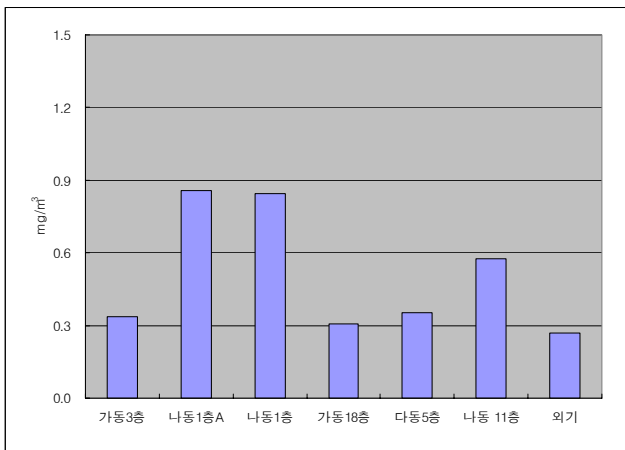


그림 2. A 단지의 세대별 TVOC 측정결과

3.3.2 B 단지 공동주택에 대한 측정결과

B 단지 공동주택의 경우, 총 3개 세대와 외기에서 측정이 이루어졌다. 휘발성유기화합물에 대한 검출결과를 살펴보면, 총휘발성유기화합물 농도는 3개 세대 모두가 일본 후생노동성 권장목표치인 0.4mg/m<sup>3</sup>를 초과하는 것으로 나타났다.

특히, 나동 18층 세대의 측정 농도가 가장 높은 것을 알 수 있는데, 이는 발코니 확장으로 인한 거실바닥 면적 및 거실 바닥으로의 직달일사 입사량 증가로 인한 바닥표면 온도의 상승이 그 원인인 것으로 사료된다.

또한, 나동 18층과 더불어 가동 2층 세대의 경우는 세대 내에서 공기 청정기를 사용하고 있음에도 불구하고, 휘발성유기화합물 농도가 높게 나타났다. 따라서, 공기청정기가 실내공기중의 휘발성유기화합물을 줄일 수 있는 효과적인 저감수단으로 활용되기 어려운 것으로 사료되며, 또한, 적은 용량의 공기 청정기로는 세대 전체의 실내공기 오염물질 농도의 저감효과를 기대하기 어려울 것으로 판단되었다.

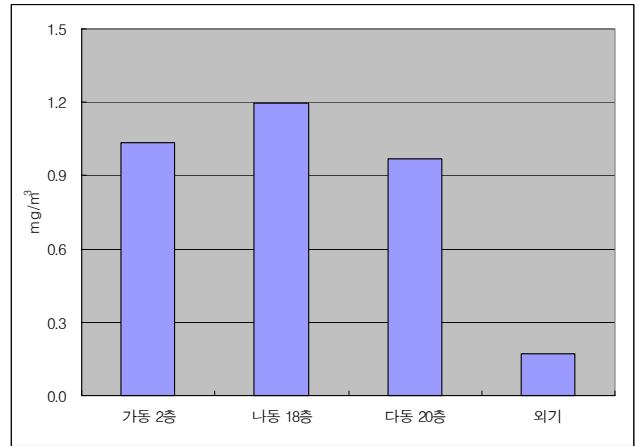


그림 3. B 단지의 세대별 TVOC 측정결과

3.3.3 C 단지 공동주택에 대한 측정결과

C 단지 공동주택의 3개 세대에 대한 측정결과를 살펴보면, 가동 12층A 세대의 경우, 동일한 건축자재가 시공된 다른 세대에 대하여 상대적으로 휘발성유기화합물 농도가 높게 나온 것을 알 수 있다. 이는 다른 세대에 비하여 가동 12층 A 세대의 온도와 습도가 약 3℃ 및 8%가 높은 것이 그 원인인 것으로 사료된다. 총휘발성유기화합물(TVOC)도 일본 후생노동성 권장목표치인 0.4mg/m<sup>3</sup>를 모두 초과하고 있는 것으로 나타났다.

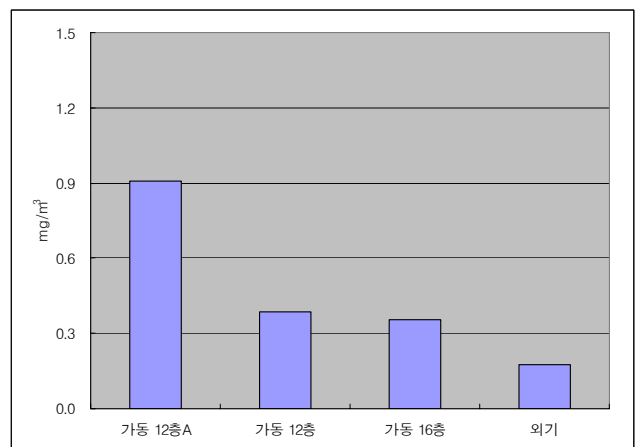


그림 4. C 단지의 세대별 TVOC 측정결과

3.3.4 D 단지 공동주택에 대한 측정결과

D 단지 공동주택의 6개 세대와 외기에서 수행된 측정결과를 살펴보면, 총 6개 세대중 가동 19층, 다동 19층, 나동 15층 등의 농도가 다른 세대에 비하여 크게 나타났다.

측정대상 세대중에 가동 19층A 세대의 경우, 실 전체에 바이오세라믹 마감을 한 세대였고, 다동 19층 세대의 경우는 다른 세대에 비하여 실내에 수목이 많이 갖춰져 있었음에도 불구하고, 다른 세대에 비하여 농도가 높게 나타났다.

실내공기중의 총휘발성유기화합물(TVOC)은 모든 세대에서 일본 후생노동성의 권장목표치인 0.4mg/m<sup>3</sup>를 초과하는 결과가 나타났다.

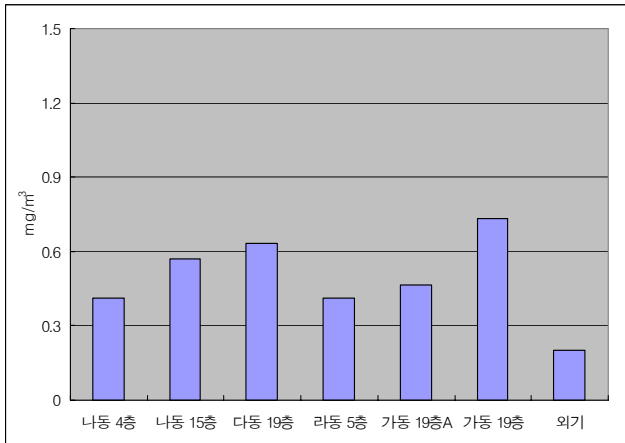


그림 5. D 단지의 세대별 TVOC 측정결과

#### 4. 휘발성유기화합물 측정결과와 종합분석

##### 4.1 총휘발성유기화합물(TVOC) 농도의 분석

총휘발성유기화합물(TVOC)은 일본 후생노동성 권장목표치인 0.4mg/m<sup>3</sup>를 초과하는 세대가 측정대상 총 18개 세대중 13개 세대(72.2%)로 나타났다.

표 6. 각 세대별 TVOC 농도에 대한 측정결과

측정세대		총휘발성유기화합물(mg/m <sup>3</sup> )
A 단지	가동 3층	0.336
	나동 1층A	0.857
	나동 1층	0.844
	가동 18층	0.308
	다동 5층	0.354
B 단지	가동 11층	0.577
	가동 2층	1.037
	나동 18층	1.198
C 단지	다동 20층	0.966
	가동 12층A	0.906
	가동 12층	0.386
D 단지	가동 16층	0.353
	나동 4층	0.414
	나동 15층	0.569
	다동 19층	0.631
	라동 5층	0.414
	가동 19층A	0.463
	가동 19층	0.733
최 소 값		0.308
최 대 값		1.198
평 균 값		0.630

실내공기중의 농도는 최소 0.308 mg/m<sup>3</sup>, 최대 1.198 mg/m<sup>3</sup>(권장치의 약 3.0배)까지 나타났으며, 세대별 농도치도 큰 차이를 보였다. 또한 조사대상 18가구의 평균치는 약 0.630mg/m<sup>3</sup>로, 일본 후생노동성 권장목표치를 약 1.5배정도 초과하고 있는 것으로 조사되었다.

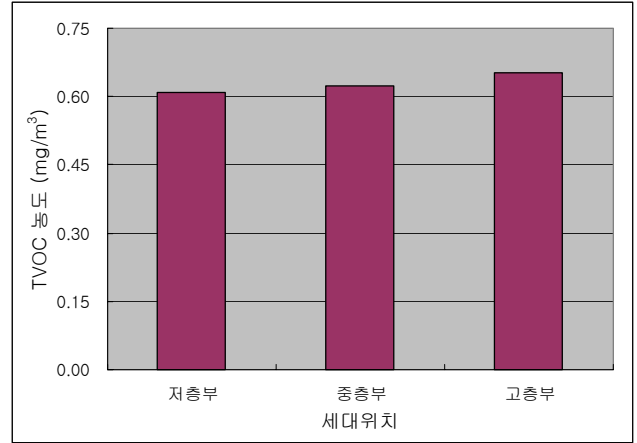


그림 6. 세대위치별 TVOC 농도분포

그림6에서 보는 바와 같이 실내공기중의 휘발성유기화합물 농도는 대상세대의 주동내 위치에 따른 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 공동주택의 실내 온/습도가 증가할수록 오염물질방출량도 높아지기 때문이며, 일반적으로 저층부에서 고층부로 갈수록 실내농도가 다소 상승하는 것으로 보고 되고 있다. 본 연구의 결과에서도 휘발성유기화합물의 경우 고층부로 갈수록 실내농도가 높아지는 경향을 보이고 있는데, 이는 고층건물에서 발생하는 연돌효과와 일사조건의 차이에 따라 상층부의 온습도 조건이 저층부에 비해 다소 높아지는 경향에 의한 결과로 예측된다.

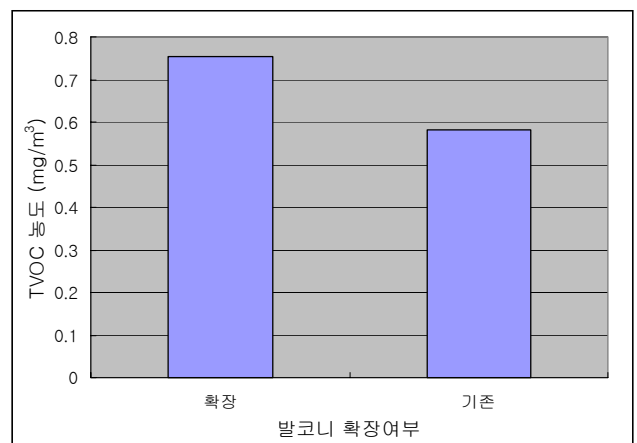


그림 7. 발코니 확장유무에 따른 TVOC 농도의 변화

그림 7은 발코니 확장여부에 따른 TVOC의 농도변화를 보여준다. 본 연구의 측정대상인 총 18개 세대중 5개 세대가 기존의 발코니를 거실로 확장하여 마루판을 시공하고 사용하고 있는 것으로 조사되었다.

이를 대상으로 실내오염물질의 농도차이를 비교한 결과, 확장세대의 TVOC 농도가 비확장세대에 비하여 평균 약 30% 정도 상대적으로 높은 경향을 보이고 있었다.

이는 발코니 확장시 사용된 마루판 및 이의 시공을 위해 사용된 접착제 사용량의 증가와 마루판에 대한 직달 일사의 입사면적 증가에 인한 것으로 사료된다.

4.2 주요 개별 휘발성유기화합물(VOCs)의 농도 분석

본 연구에서 휘발성유기화합물의 정량분석을 위해 GC/MS에 적용한 표준물질은 EPA-TO14A로 표7에서 보는 바와 같은 40개 유해화학물질에 대하여 정량할 수 있다.

그 외의 실내공기중에 존재할 가능성이 있는 휘발성유기화합물에 대해서는 unknown factor로 간주하고 톨루엔으로 환산하여 TVOC 농도를 산정하였다.

일반적으로 공동주택의 실내공기중에 존재하는 휘발성유기화합물은 200-300여종 이상인 것으로 보고 되고 있으나, 본 연구에서는 이중에서 발현빈도가 높고 위해성이 인정된 물질을 위주로 분석을 실시하였다.

표 7. 미국 EPA TO-14A에서 규정하고 있는 독성 VOCs

Compounds (synonym)	Formular
Freon 12 (Dichlorodifluoromethane)	Cl <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>
Methyl chloride (Chloromethane)	CH <sub>3</sub> Cl
Freon 114	CICF <sub>2</sub> CCLF <sub>2</sub>
Vinyl chloride (chloroethylene)	CH <sub>2</sub> =CHCl
Methyl bromide (bromoethane)	CH <sub>3</sub> Br
Ethyl chloride (chloroethane)	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl
Freon 11 (trichlorofluoromethane)	CCl <sub>3</sub> F
Vinylidene chloride (1,1-dichloroethane)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>
Dichloromethane (methylene chloride)	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>
Freon 113	CF <sub>2</sub> CICCl <sub>2</sub> F
1,1-Dichloroethane (ethylidene chloride)	CH <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>
cis-1,2-Dichloroethylene	CHCl=CHCl
Chloroform (Trichloromethane)	CHCl <sub>3</sub>
1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride)	CICH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl
Methyl chloroform (1,1,1-trichloroethane)	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	CCl <sub>4</sub>
1,2-Dichloropropane (propylene dichloride)	CH <sub>2</sub> CHClCH <sub>2</sub> Cl
Trichloroethylene (Trichloroethene)	CICH=CCl <sub>2</sub>
cis-1,3-Dichloropropene	CH <sub>2</sub> CCl=CHCl
trans-1,3-Dichloropropene	CICH <sub>2</sub> CH=CHCl
1,1,2-Trichloroethane (vinyl trichloride)	CH <sub>2</sub> CICHCl <sub>2</sub>
Toluene	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>
1,2-Dibromoethane (ethylene dibromide)	BrCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Br
Tetrachloroethylene (Perchloroethylene)	Cl <sub>2</sub> C=CCl <sub>2</sub>
Chlorobenzene	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl
Ethyl benzene	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>
m-Xylene	1,3-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>
p-Xylene	1,4-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>
Styrene (vinyl benzene)	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub>
1,1,2,2-Tetrachloroethane	CHCl <sub>2</sub> CHCl <sub>2</sub>
o-Xylene	1,2-(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>
1,3,5-Trimethylbenzene (mesitylene)	1,3,5-(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,4-(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
m-Dichlorobezne (1,3-dichlorobenzene)	1,3-Cl <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>
Benzyl chloride	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> Cl
o-Dichlorobenzene (1,2-dichlorobenzene)	1,2-Cl <sub>2</sub> -C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>
p-Dichlorobenzene (1,4-dichlorobenzene)	1,4-Cl <sub>2</sub> -C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>
1,2,4-Trichlorobezne	1,2,4-Cl <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>3</sub>
1,1,2,3,4,4-Hexachloro-1,3-butadiene	C <sub>4</sub> Cl <sub>6</sub>

측정결과를 살펴보면, 국내 공동주택의 실내공기중 농도가 높은 휘발성유기화합물로는 표8-표11에서 보는 바와 같이 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠, 스틸렌 등의 순서로 나타났다. 또한, 벤젠, 트리메틸벤젠, 테트라클로에틸렌 등의 물질도 검출되었다.

국내 공동주택에서 나타나고 있는 주요 휘발성유기화합물은 미국환경청(EPA)에서 인체에 위해성이 있는 것으로 규정하고 있는 40개의 휘발성유기화합물중에서 대략 10여종내외인 것으로 파악되었다. 그러나, EPA-TO 14A 표준가스로 정량되지 않은 휘발성유기화합물중 unknown factor로 지칭되는 유기화합물이 전체 TVOC의 약 70% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났기 때문에, 향후 이에 대한 정밀분석도 필요할 것으로 판단된다.

표 8. A단지의 개별 VOCs 농도에 대한 측정결과

	가동 3층	나동 1층A	나동 1층	가동 18층	다동 5층	나동 11층
chloroform	0.000	0.001	0.005	0.000	0.000	0.010
1,1,1-trichloroethane	0.000	0.001	0.001	0.000	0.003	0.002
benzene	0.003	0.003	0.004	0.002	0.002	0.003
carbon tetrachloride	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000
tce(trichloroethylene)	0.001	0.001	0.002	0.001	0.003	0.002
toluene	0.027	0.102	0.101	0.040	0.035	0.078
ethylbenzene	0.029	0.021	0.009	0.005	0.007	0.009
m,p-xylene	0.025	0.034	0.047	0.005	0.011	0.020
styrene	0.001	0.013	0.009	0.002	0.003	0.008
1,3,5-trimethylbenzen	0.001	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001
1,2,4-trimethylbenzen	0.002	0.006	0.005	0.023	0.002	0.003
unknown	0.255	0.683	0.667	0.234	0.289	0.448
TVOC	0.336	0.857	0.844	0.308	0.354	0.577

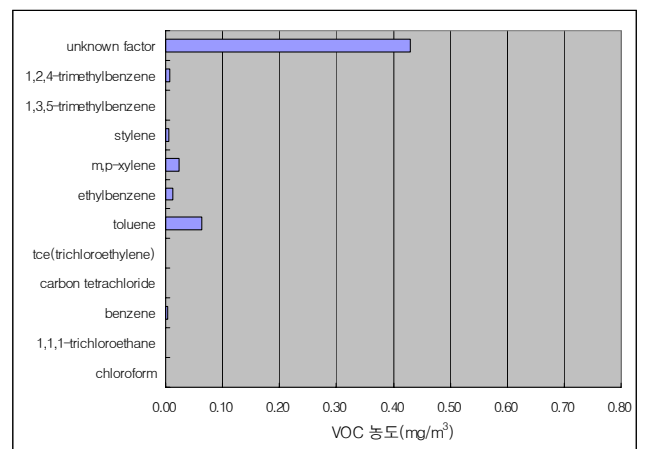


그림 8. A 단지 단위세대의 실내공기중 주요 VOCs 농도

표 9. B단지의 개별 VOCs 농도에 대한 측정결과

	가동 2층	나동 18층	다동 20층
chloroform	0.002	0.002	0.002
1,1,1-trichloroethan	0.002	0.000	0.000
benzene	0.004	0.003	0.003
carbon tetrachloride	0.000	0.001	0.000
tce(trichloroethylene)	0.005	0.001	0.002
toluene	0.111	0.187	0.109
ethylbenzene	0.048	0.083	0.039
m,p-xylene	0.073	0.123	0.112
styrene	0.005	0.011	0.009
1,3,5-trimethylbenzen	0.002	0.001	0.001
1,2,4-trimethylbenzen	0.007	0.005	0.007
unknown	0.799	0.811	0.705
TVOC	1.037	1.198	0.966



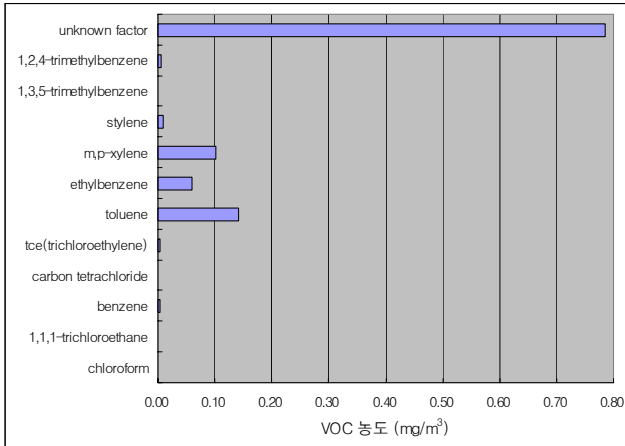


그림 9. B 단지 단위세대의 실내공기중 주요 VOCs 농도

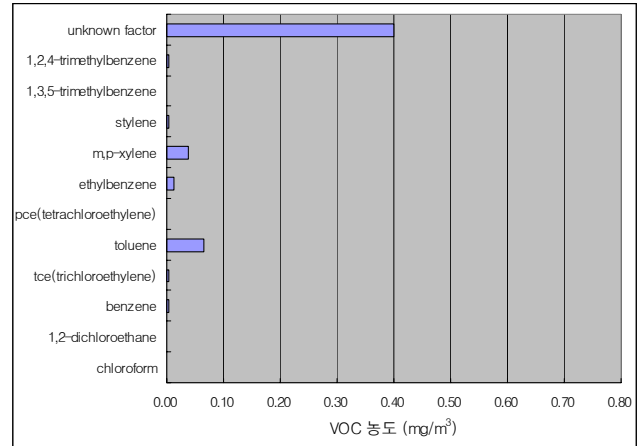


그림 11. D 단지 단위세대의 실내공기중 주요 VOCs 농도

표 10. C단지의 개별 VOCs 농도에 대한 측정결과

	가동 12층A	가동 12층	가동 16층
chloroform	0.001	0.001	0.000
benzene	0.002	0.003	0.002
tce(trichloroethylene)	0.000	0.001	0.000
toluene	0.169	0.090	0.084
ethylbenzene	0.018	0.013	0.005
m,p-xylene	0.032	0.020	0.010
styrene	0.011	0.005	0.003
1,3,5-trimethylbenzen	0.001	0.000	0.000
1,2,4-trimethylbenzen	0.007	0.003	0.004
unknown	0.674	0.255	0.247
TVOC	0.906	0.386	0.353

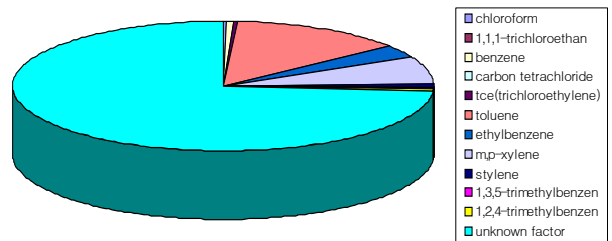


그림 12. 실내공기중 VOCs 비율(EPA-TO14 표준가스로 정량시)

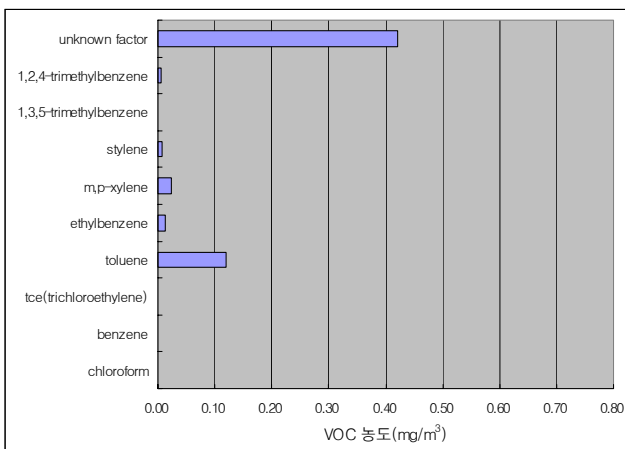


그림 10. C 단지 단위세대의 실내공기중 주요 VOCs 농도

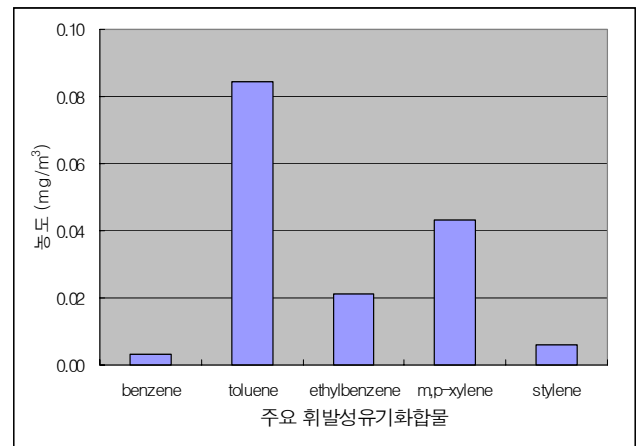


그림 13. 실내공기중의 주요 휘발성유기화합물 농도

표 11. D단지의 개별 VOCs 농도에 대한 측정결과

	나동 4층	나동 15층	다동 19층	라동 6층	가동 19A	가동 19층
chloroform	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
1,2-dichloroethane	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
benzene	0.003	0.003	0.004	0.005	0.003	0.003
tce(trichloroethylene)	0.002	0.003	0.004	0.005	0.001	0.002
toluene	0.061	0.074	0.068	0.058	0.047	0.077
pce(tetrachloroethylene)	0.001	0.000	0.003	0.001	0.004	0.002
ethylbenzene	0.011	0.003	0.006	0.012	0.019	0.044
m,p-xylene	0.027	0.009	0.011	0.026	0.063	0.127
styrene	0.004	0.006	0.003	0.004	0.004	0.005
1,3,5-trimethylbenzen	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.004
1,2,4-trimethylbenzen	0.002	0.002	0.002	0.003	0.005	0.016
unknown	0.306	0.470	0.532	0.305	0.330	0.480
TVOC	0.414	0.569	0.631	0.414	0.463	0.733

세부 개별 VOCs에 대한 분석결과, 가장 많이 검출된 톨루엔의 농도는 0.084mg/m<sup>3</sup>으로 나타나, 실내 TVOC 농도의 약 11.7~20.9%(평균 13.4%) 정도를 차지하고 있는 것으로 분석됨으로써, 실내공기중의 톨루엔 저감방안 강구가 시급한 것으로 나타났다. 또한, 자일렌, 에틸벤젠, 스티렌도 각각 최대 0.043, 0.021, 0.006mg/m<sup>3</sup>로 나타나, 이에 대한 고려도 필요할 것으로 사료되었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 서울 및 수도권 소재의 신축후 1년-2년 이 경과된 공동주택을 대상으로 휘발성유기화합물에 대

한 측정을 실시하여, 실내공기중에 존재하는 휘발성유기화합물의 종류와 농도 등에 대하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 공동주택 실내공기오염의 주요 요인으로 알려져 있는 휘발성유기화합물 농도에 대한 현장측정 결과, 조사대상 공동주택중 72.2%(평균 0.630, 최대 1.198mg/m<sup>3</sup>)가 일본 후생성의 잠정목표치를 초과하는 것으로 나타났다. 이는 실내공기환경을 쾌적하게 유지하기 위한 대책이 시급히 도입하지 않을 경우, 신축후 1-2년이 경과하여도 주요 실내공기오염물질의 실내농도가 적정수준이하로 유지되기 어려움을 간접적으로 시사한다고 할 수 있다.

2) 공동주택의 실내온·습도가 증가할수록 오염물질방출량도 높아지는 것으로 나타났으며, 저층부에서 고층부로 갈수록 농도가 다소 상승하는 것을 알 수 있었다. 이는 고층건물에서 발생하는 연돌효과와 일사조건의 차이에 따라 상층부의 온습도 조건이 저층부에 비해 다소 높아지는 경향에 의한 결과로 분석되었다.

3) 거실 발코니의 확장에 따라서도 실내공기오염물질의 농도차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 발코니 확장 시 사용된 마루판 및 이의 시공을 위해 사용된 접착제 사용량의 증가와 마루판에 대한 직달일사의 입사면적 증가에 인한 것으로 사료된다.

4) 개별 VOCs의 경우, 일반적으로 인체에 대한 위해성이 인정되고 있는 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠, 스틸렌 등의 순서로 실내공기중의 농도가 높은 것으로 나타났다. 또한, 벤젠, 트리메틸벤젠, 테트라클로에틸렌 등의 물질도 유의한 수준에서 검출되어 이에 대한 저감대책의 마련이 필요한 것으로 판단되었다.

일반적으로 공동주택에서의 TVOC와 HCHO농도는 건축 초기단계뿐만 아니라 입주 후, 거주자가 에너지절약의 측면에서 냉난방을 하게 되면서 기밀화되기 때문에 실내오염물질의 농도가 높아지는 경우가 있는데, 이러한 문제의 해결을 위해서는 건축자재 및 가구에서 방출되는 오염물질에 대한 억제와 환기 측면에서의 대책이 필수적이라 할 수 있다. 따라서, 오염물질저방출 건축자재의 개발과 경제적이고 효과적인 환기설비의 보급이 시급한 실정으로 향후, 이에 대한 연구개발이 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 이윤규 외, 주요 건축물의 실내공기오염 저감을 위한 설계지원 프로그램 개발 연구, 건설교통부, 2003
2. 이윤규 외, 실내공기질 공정시험방법 도출 연구, 국립환경연구원, 2004
3. 환경부, 실내공기질공정시험방법, 2004
4. 환경부, 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구, 2002
5. 환경부, 오염물질방출 건축자재 선정관련 연구, 2003