

신축 공동주택의 VOCs 실태조사

A study on measurement of VOCs in newly house

유복희*
Yoo, Bok-hee

윤정숙**
Yoon, Chung Sook

Abstract

Recently, much attention has been paid to the problem such as sick building syndrome, which caused by the air pollutant indoor. In addition, Volatile Organic Compounds(VOCs) has been paid attention to as one of the main reason that causes air pollutant indoor, and the exposure of VOCs indoor is recognizes as an important factor which have an effect on the health of resident. In this study, measuring of VOCs in newly houses, and the results are as follows; 1)TVOC(Total Volatile Organic Compounds) indoor is detected high concentration($11314\mu\text{g}/\text{m}^3$). 2)There are detected acetaldehyde, methylenechloride, benzene, trichloroethylene and styrene that have to take precaution against human carcinogenicity

Keywords : Newly house, Volatile Organic Compounds, Carcinogenicity

I. 연구의 목적

최근, 건물의 기밀성 향상으로 인한 불충분한 환기와 새로운 건재 및 마감재 등의 개발로 인한 VOCs(Volatile Organic Compounds)와 같은 화학물질의 발생은 건물 병증후군(SBS:Sick Building Sysdrom)과 화학물질과민 증 등과 같은 건강상 무시할 수 없는 중대한 문제를 불러일으키고 있다. 선진국에서는 위와 같은 실내공기의 화학물질에 대한 연구가 1980년대 후반부터 활발하게 진행되고 있으며, 각종 공기유해물질에 대한 기준치 설정 및 인체에 무해한 건축자재 등의 개발에 힘을 기울이고 있다.

그러나, 우리나라에서는 아직 이에 대한 인식이 부족한 상태이며 실내에서의 공기유해물질에 대한 실태파악 또한 미비한 실정이다.

국내에서는 실내건재에 대한 방출량 측정에 관한 연구¹⁾와 실내 거주환경에 대한 VOCs의 농도측정에 대한 연구²⁾가 부분적으로 이루어지고 있다. 그러나 후자의 경우, 몇 개의 VOCs에 대한 선택적 농도(주로 방향족

화합물)조사에 그치고 있어 실내에 존재하는 VOCs의 종류도 체계적으로 파악되지 못하고 있는 실정이다. 또한 실내에서의 VOCs의 농도추이의 특성은 신축초기에 고농도를 나타내고 시간경과와 함께 농도가 급격히 감소하는 경향을 나타내므로³⁾ 신축주택의 초기농도의 파악과 이에 대한 대책마련이 시급하다. 그러나 국내의 경우 신축주택을 대상으로 한 실내 VOCs의 실태파악은 미비한 실정이라고 할 수 있다.

특히, 현대인이 하루 중 대부분을 실내에서 생활하고 있음을 고려할 때 실내공기의 문제는 거주자의 건강측면에서 무엇보다도 중요하다.

따라서 화학물질로부터 인간의 건강을 보호하기 위해서는 실내공기유해물질에 대한 기준치 설정 작업이 필요하며, 이를 위해서는 좀 더 많은 기초데이터의 수집

1) 김윤일의(1999), PVC바닥장판재의 실내공기오염물질 발생 강도 측정에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 19(2), 979-984.

윤동원의(2001), 건축자재에서의 VOCs 방출특성평가에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 추계학술발표대회논문집, 1(1), 173-180.

2) 신혜수의(1993), 실내의 공기중 휘발성유기화학물질(VOCs)의 농도조사에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(4), 310-319. 김영민의(1995), 대구지역 일반실내환경 중 VOC 농도, 대한환경공학회 추계학술연구발표회논문초록집, 348-351.

3) 유복희의(2002), 일본 신축주택에서의 VOCs의 농도추이에 따른 대표물질의 선정, 한국생태건축학회 논문집 1(1), 35-43.

*연세대 생활과학연구소 Post.doc

**연세대 주거환경학과 교수

* 이 논문은 2001년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2001-037-DA0034)

이 무엇보다도 선결되어야 한다.

이에 본 연구는 신축주택을 대상으로 실내 VOCs의 실태조사를 통한 유해물질의 확인을 목적으로 한다.

II. VOCs와 TVOC

유기화합물(Organic Compounds)은 탄소를 포함하는 화합물의 총칭이며, 이 중에 탄소와 수소만으로 구성되어진 것이 탄화수소(Hydrocarbon)이다. 탄화수소에 관능기가 붙어있는 것이 유기화합물이며 상온·상압하에서 기화하기 쉬운 성질을 가진 것을 휘발성유기화합물 즉, VOCs(Volatile Organic Compounds)라고 한다. 이 VOCs는 극히 다종다양하며, 구체적인 대상물질 또는 VOCs 명칭에 대해서도 연구자에 의해 차이가 있다. 세계보건기구(World Health Organization 이하WHO)는 실내외에 있는 유기물질을 각 물질이 갖는 비점(沸點)에 의해 VVOC, VOC, SVOC와 POM로 분류하였다 <표 1>.

<표 2>는 WHO에 의한 실내 VOCs의 장기 저농도 폭로에 관한 목표치의 가이드라인이다. 신축주택의 경

우 초기에는 고농도가 검출되고 점점 감소경향의 특성을 나타낸다. 따라서, 이와 같은 기준치는 신축 후 일정기간 경과되어 안정된 저농도를 나타내는 경우와의 비교가 이루어져야 할 것이다. 또한, 각각의 단독물질이 아닌, 화학물질류에 의한 총농도의 목표치가 제시되어 있으며, 실내중의 VOCs 총농도인 TVOC(Total Volatile Organic Compounds)의 목표치는 300 µg/m³로 규정하고 있다.

TVOC란, 가스크로마토그래피등에 의해 분석되어진 각종 VOCs의 총량이며, 총휘발성유기화합물로 불리진다. 총량이라고 해서 수십에서 수백에도 달하는 VOCs 전부를 엄밀히 정성·정량분석하여 합계하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 실제로는 상위 10-20위 정도까지의 화학물질에 대해서 총계를 구한다. TVOC의 정의 및 측정법에는 다양한 제안이 있으며, 현시점에서는 국제적으로 통일되어진 것은 없다.

일본 후생성의 '쾌적하고 건강한 주택에 관한 검토회의' 2000년 보고서에 의하면 TVOC란 복수의 휘발성유기화합물의 혼합물의 농도 레벨이라고 정의하고 있다. 건강에의 영향을 직접적으로 평가하기 위해서는 각각의 VOCs에 관한 가이드라인을 설정할 필요가 있으나 100종 이상에 달하는 미량의 휘발성유기화합물의 전부에 대해서 단기간의 건강영향 평가를 하는 것은 곤란하다. TVOC는 인간의 건강에 영향을 끼치는 다른 복수의 화학물질의 혼합물에 대한 농도레벨의 지표이며, 건강에의 영향을 직접적으로 평가하는 지표는 아니다.

III. 인간에 대한 유해성 평가

화학물질 폭로가 인간의 건강에 어떤 영향을 가져오는지 판단하는 것은 정량적인 평가와 함께 해당물질에 관한 역학(疫學)적, 동물실험에 기초한 생물정량법적(生物定量法的), 물리적, 과학적, 시험관내(in-vitro)⁴⁾ 리뷰가 요구되어 진다.

4) in vitro은 [시험관내]라는 뜻으로, 생물학적 시험을 生體內가 아닌 生體外에서 행하는 것을 말한다. 구체적으로 세포배양에 의한 시험을 말한다. in vitro시험은 생물의 부분적인 기능을 이용한 시험이기 때문에 어느 정도 한계는 있으나, 시험이 편리하다는 점으로부터 단기간에 다수의 檢體를 평가할 수 있다. 따라서, 동물실험을 행하기 전에 사전평가시험으로서 널리 이용되고 있다.

표1. 유기화합물의 분류

서술	약술	비점 범위
초휘발성유기화합물 (Very Volatile Organic Compounds)	VVOC	<0°C ~50-100°C
휘발성유기화합물 (Volatile Organic Compounds)	VOC	50-100°C ~240-260°C
반휘발성유기화합물 (Semi-Volatile Organic Compounds)	SVOC	240-260°C ~380-400°C
입자상물질 (Particulate Organic Compounds)	POM	> 380°C

표 2. VOC의 분류 및 기준치

VOC의 종류	기준농도 (µg/m ³)	비고
지방족탄화수소	100	각 화합물의 농도는 속하는 화학물질류의 농도 50%을 넘어서는 안된다. 또 TVOC의 10%을 넘어서는 안된다.
방향족탄화수소	50	
테르펜	30	
유기할로겐화합물	30	
에스테르	20	
알데히드·케톤 (포름알데히드는 제외)	20	
그외	50	
총계농도(TVOC)	300	

화학물질에 관한 유해성(리스크) 평가를 행할 경우, 우선순위를 결정하기 위해서는 발생량, 발생원, 농도추이, 독성 등에 관한 예비적 문헌조사 등을 통한 ‘유해성 확인’ 작업이 필요하다. 이 작업에서 중요한 것은 발암성의 유무이지만 이 판정에는 역학적 지견과 실험동물에 대한 발암시험의 결과를 중시하고 있다.

화학물질의 발암성 분류 기준은 대표적으로 국제암연구기관(International Agency for Research on Cancer 이하 IARC)과 미국환경보호청(United States Environment Protection Agency 이하 U.S.EPA), 미국산업위생전문가회의(American of Conference of Governmental Industrial Hygienists 이하 ACGIH)에 의한 것을 이용한다.

각 기관에 의한 판정기준을 정리한 것이<표 3>이다.

IV. 실측조사

4.1 측정대상주택의 개요

대상주택은 신축 아파트로서 입주시기는 2002년 1월이며, 측정은 2002년 3월에 실시하였다. 거주자는 부부와 자녀 2명으로 구성되어져 있다.

일상생활 중 환기 실태는 오전 중(9시부터 10시사이)

청소시에 거실의 한쪽 창과 앞·뒤베란다의 문(대개 두 쪽)을 열어 1시간정도 환기가 이루어지고, 난방은 입주 시부터 대개 오후 8시부터 오전 9시까지 가동시킨 것으로 조사되었다. 또한 입주시 새로 들여온 가구는 거실에 놓인 소파가 있으며 안방에 놓인 옷장과 서랍장은 기존의 것을 새롭게 도장한 것으로 조사되었다. 따라서 입주초기에는 실내에 도장 냄새가 심해 환기를 집중적으로 시킨 경력이 있다<표 4>.

표 4. 측정대상주택의 개요

준공시기	2001. 10. 03
입주시기	2002. 01. 21
측정시기	2002. 03. 04
지역	일반주거지역
층수	12층
구조	철근콘크리트 구조
향	정남향
전용면적	84.99 m ² (25.71평)
난방방법	개별식 중앙난방
환기형태	자연환기(9:00-10:00 집중환기)
가구	안방의 옷장과 화장대 새로 도장 거실의 가죽 소파 새로 구입 아이들방의 책장, 책꽂이, 옷장과 거실의 장식장은 기존의 것

표 3. 각 기관별 발암성 평가 기준표

기관명	기호	발암성 분류기준
국제암연구기관 (IARC)	1	- 인간에 대해 발암성을 나타냄.
	2A	- 인간에 대해 발암성을 나타낼 가능성이 상당히 높음.
	2B	- 인간에 대해 발암성을 나타낼 가능성이 좀 높음.
	3	- 인간에 대해 발암성을 의심할 수 있으나 증거는 불충분함.
	4	- 인간에 대해 발암성을 나타낼 가능성이 상당히 낮음.
미국산업위생 전문가회의 (ACGIH)	A1	- 인간에 대해 발암성이 확인되어진 물질.
	A2	- 인간에 대한 발암성이 의심되어지는 물질.
	A3	- 동물에 대한 발암성 물질.
	A4	- 인간에 대한 발암성물질이라고 분류할 수 없는 물질.
	A5	- 인간에 대해 발암성의 의심이 없는 물질.
미국환경보호청 (U.S.EPA)	A	- 인간에 대한 발암성이 충분히 확인되어지는 물질(IARC의 1에 해당).
	B1	- 인간에 대해 발암성이 어느 정도 확인되어지는 물질(IARC의 2A, 2B에 해당).
	B2	- 인간에 대해 발암성 증거는 없으나, 또는 불충분하지만 동물실험에서는 발암성이 충분히 확인되어지는 물질(IARC의 2A, 2B에 해당).
	C	- 인간에 대해 발암성 증거는 없으나, 동물실험에서는 발암성이 어느 정도 확인되어지는 물질(IARC의 2B, 3에 해당).
	D	- 인간에 대한 발암성의 증거는 없으나 또는 불충분하며, 동물실험에서 발암성도 명확히 인정되지 않는 물질(IARC의 3, 4에 해당).
E	- 인간에 대한 발암성의 증거는 없고, 동물실험에도 발암성을 인정할 수 없는 물질.	

표 5. 주택내부 구성재의 마감재료

품목	시설내용
신발장	멤브레인 마감
문틀	목재
문좌	목재
창틀	합성수지
창좌	합성수지
욕실	습식타일
발코니 난간	아연도금분체도장
벽지	거실, 침실1:실크지 침실2,3:인쇄발포지
거실바닥재	데코우드(전용59㎡, 우드형)
장판지	장판지문양 립카펫(민속장판)
싱크대	멤브레인 마감

표 6. GC/MS분석조건

Varian CP-3800	Column	Split, CP SIL (60 m×0.32 mm×0.25DF)
	Carrier Gas	He
	Column Flow	1.2 ml/min
	Injection Temp	200°C
	Oven Temp Program	30°C(8min)-4°C/min -150°C(0min)- 5°C/min -200°C(20min)
	SPT Cool down Temp	-120°C
	SPT Injection Temp	250°C
	Ionization Mode	EI Auto
	Injection Volume	210 ml
	Bypass Gas	80 psi

주택 내부 구성재의 마감재는 <표 5>와 같다.

4.2 VOCs의 측정 및 분석방법

VOCs측정은 오후 2시에 실시하였으며 측정 5시간 전 부터는 환기를 억제하였다. 측정시 실내의 경우 기온은 25°C, 습도(RH) 61%, 풍속 0.02 m/s로, 외기의 경우, 기온은 15.5°C, 습도(RH)는 58%, 풍속 4.75 m/s로 나타났다. 실내 측정점은 거실 중앙에서 바닥위 1m의 공기를, 외기는 베란다 외벽에서 1m 떨어진 지점의 공기를 샘플링하였다.

실내외공기 채취는 Tedlar(polyvinylfluorid)백을 이용하여 실외의 경우는 휴대용 샘플펌프(Flex pump DCI-N형)를, 실내의 경우에는 흡인박스를 이용한 간접샘플링방법⁵⁾을 이용하였다. VOCs분석은 가스 크로마토그래피/질량분석계(이하 GC-MS)에 의해 실시하였다. <표 6>은 GC-MS의 분석조건을 나타낸다. 각 성분의 정량시 ppb로 산출된 농도를 기중(氣中)농도⁶⁾로 환산하였다.

V. 결과 및 해석

<표 7>에서 보는 바와 같이, 본 측정에서 검출된 VOCs는 대부분 고농도를 나타냈으며, 그 중에서도 상대적으로 높은 것은 ethanol, acetone, toluene, 2-ethylbutylaldehyde 등이다. 이것은 전자재의 도장이나 접착제로 인한 발생을 추측할 수 있다.

또한, 발생원의 존재상황의 근거가 되는 I/O비율을 보면 대부분의 높은 값을 나타내, 실내에 발생원이 있음을 강하게 뒷받침하고 있다. 또한, [I]라고 표기된 것은 외부공기에서는 검출되지 않은 물질을 나타내고 있다.

외부공기에 비해 실내에서 더 많은 수의 VOCs의 검출이 확인되었으며 이것은 실내에서의 생활에서 발생하는 것과 실내의 건재 또는 가구에서 발생하는 것이 주

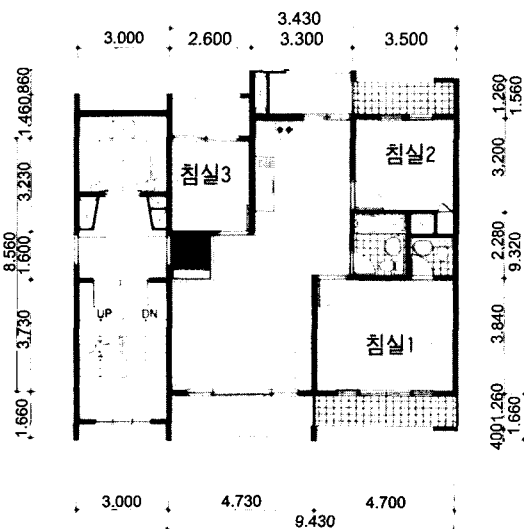


그림 1. 측정대상주택의 평면도

5) 흡인박스는 전원식 펌프(Flex pump AC형)를 이용하여 흡인 Box내의 압력을 낮추어서 Box내부로 시료가스를 흡인시킴으로써 시료가스는 펌프를 통과하지 않고 직접 흡인박스로 들어가 Tedlar백 內로 채취된다.

6) U.S EPA에서 제안하고 있는 다음과 같은 환산식을 이용하였다. $mg/m^3 = ppb \times (\text{molecular weight of compound}) / (24.45)$.

표 7. VOCs 측정 결과표

VOCs	농도		I/O	발암성 판정			CAS번호	환경부고시 규제대상물질
	Indoor(µg/m³)	Outdoor(µg/m³)		U.S EPA	IARC	ACGIH		
Acetaldehyde	175	n.d*	I	B2	2B	A3	75-07-0	√
Ethanol	1983	210	9.44			A4	64-17-5	
Acetone	4674	94	49.72	D		A4	67-64-1	
Isopropylalcohol	113	n.d	I		3		67-63-0	√
Methylenechloride	305	n.d	I	B2	2B	A3	75-09-2	√
Carbendisulfide	375	156	2.40				75-15-0	
2-Butanone(M.E.K)	518	22	23.54	D			78-93-3	
3-Methyl pentane	n.d	13	O				96-14-0	
2-Butanol	37	n.d	I				78-92-2	
Ethylacetate	56	n.d	I			A4	141-78-6	
Isobutylalcohol	31	n.d	I				78-83-1	
2,3-Butandiol	293	16	18.31				513-85-9	
Benzene	n.d	n.d	.	A	1	A1	71-43-2	√
Trichloroethylene	15	10	1.50		2A	A5	79-01-6	√
Methylisobutyl ketone	18	n.d	I				108-10-1	
Toluene	1321	78	16.93	D	3	A4	108-88-3	√
n-Hexylaldehyde	51	n.d	I				66-25-1	
Butylacetate	43	n.d	I			A4	123-86-4	
2-Ethylbutylaldehyde	853	36	23.69				97-96-1	
Ethylbenzene	27	8	3.37	D			100-41-4	√
m-Xylene	68	20	3.4		3	A4	108-38-3	√
p-Xylene					3	A4	106-42-3	√
Styrene	172	n.d	I		2B	A4	100-42-5	√
o-Xylene	31	9	3.44		3	A4	95-47-6	√
Limonene	155	35	4.42				138-86-3	
TVOC	11314	707						

*n.d 는 1ppb 이하로 검출된 물질
 √ 환경부고시 제2001-36호(2001.3.8)에 따른 규제대상물

원인으로 추측되어진다. 특히 acetone과 ethanol의 경우 상대적으로 높은 수치를 나타내고 있는데 이것은 입주 시 가구를 새로 도장한 것이 원인으로 추측된다.

실내에서 검출된 22물질의 총량으로 TVOC를 산출 하였으며 외기는 검출된 13물질의 총량으로서 TVOC를 산출하였다. TVOC는 매우 고농도를 나타냈으며 신축초기에는 환기등과 같은 적극적인 계획이 필요함을 확인할 수 있었다.

한편, WHO의 족분류에 의한 VOCs의 분포를 살펴 보면<표 8>, 케톤류, 기타(주로 알콜류), 방향족탄화수소류 순으로 고농도를 나타내고 있다. 본 연구에서는 지

표 8. 화학물질류별 농도분포

분류	농도(µg/m³)
지방족탄화수소	-
방향족탄화수소	1619
에스테르	99
테르펜	155
유기할로겐화합물	695
알데히드	1079
케톤	4692
기타(알콜 등)	2975
TVOC	11314

방죽탄화수소류는 검출되지 않았다.

본 연구에서 검출된 VOCs중에서 U.S EPA, IARC, ACGIH에 의한 발암성 판정에 관한 결과를 보면, 주의를 요하는 수준의 발암성 물질의 검출이 확인되었다. 특히, acetaldehyde, methylenechloride의 경우 실내에서 비교적 고농도로 검출되고 있음을 확인할 수 있었으며, 발암성의 유해성이 높은 benzene의 경우도 극히 미량($1 < \text{ppb}$)이지만 검출됐음에 특히 주의하여야 한다. 동일물질에 대한 발암성 평가는 기관별로 다소 차이를 보이고는 있지만 좀 더 강화된 평가기준을 가진 IARC의 평가에 의한, 인간에 대한 발암 가능성을 가지고 있는 물질로 확인된 trichloroethylene, styrene도 검출되었다.

또한, 환경부의 규제대상물질도 다수 검출되었음을 확인하였다.

VI. 결 론

본 연구에서는 대상주택의 실내에 존재하는 VOCs(1 ppb 이상)의 종류를 확인하였으며, 그 중에는 발암성의 위험이 있는 물질이 다수 확인되었다. 또한, TVOC는 고농도를 나타냄으로써, 초기농도의 저감과 유해물질의 제거에 대한 대책이 시급한 것으로 평가되었다.

실내 VOCs는 대부분 실내에 발생원이 있음이 추측되었는데 이것은 실내 일상적 생활의 영역에서 발생하는 것과 실내의 건재 및 가구 등에서 발생하는 것으로 생각된다. 실내에서의 발생원에 대한 추측은 실내의 검출물질의 추측에 중요한 영향을 미치는 것으로써 주택 실내에서의 VOCs저감은 생활의 개선과 이에 대한 거주자의 인식이 요구된다.

주택을 대상으로 한 실내의 VOCs측정은 많은 데이

터 축적이 요구되며, 이와 함께 생활에 대한 조사와 그 발생원 조사도 병행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 劉福姬 외(2001), 新築住宅における揮發性有機化合物(VOCs)의濃度推移の特性, 日本家政學會誌, 52(9) 87-94
2. 池田耕一(1998), 室内空氣汚染の原因と對策, 日刊工業新聞社, 東京
3. 木村 洋(1997), 新築及び既築集合住宅の室内空氣質測定(その一) VOC測定結果, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 755-756
4. 守屋好文 외(1998), 新築戸建住宅の揮發性有機化學物の實測調査, 第3報,(經年に伴うVOC及び有機リン系化學物の變化), 空氣調和衛生工學會學術講演會論文集, 545-548
5. 後藤 滋 외(1997), 木造住宅の揮發性有機化學物汚染に關する實態調査, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 749-750.
6. Yu, C. et al(1998). A review of the Emission of VOCs from Polymeric materials used in Buildings, Building and Environment, Vol.6, 357-374.
7. Molhave, L. et al(1996)., The danish Twin Apartment Study-Part II; Mathematical Modeling of the Relative Strength of Sources of Indoor Air pollution, Indoor Air, Vol.6, 18-30.
8. Persily, A. K.,(1996) Issues in the Field Measurement of VOC Emission Rates, Proceeding 6th, Indoor Air, Vol.2, 49-54.
9. 유복희 외(2002), 일본 신축주택에서의 VOCs의 농도추이에 따른 대표물질의 선정, 한국생태건축학회 논문집 1(1), 35-43.
10. 신혜수 외(1993), 실내의 공기중 휘발성유기화합물질(VOCs)의 농도조사에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(4), 310-319.
11. 김영민 외(1995), 대구지역 일반실내환경 중 VOC 농도, 대한환경공학회 추계학술연구발표회논문초록집, 348-351.
12. 김윤일 외(1999), PVC바닥장판재의 실내공기오염물질 발생강도 측정에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 19(2), 979-984.
13. 윤동원 외(2001), 건축자재에서의 VOCs 방출특성평가에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 추계학술발표대회 논문집, 1(1), 173-180.