

공동주택에서의 포름알데히드 및 휘발성유기화합물 측정연구

A Measurement of Formaldehyde and Volatile Organic Compounds(VOCs) in Apartment Houses.

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

Abstract

The purpose of this study is to investigate emission characteristics of pollutant sources and to improve the Indoor Air Quality(IAQ) in apartment houses. The field measurement was conducted in four different apartment house complexes located in Seoul. The result of the measurement shows that indoor concentrations of HCHO and VOC's are much higher than the foreign standards. The result of the study indicates that the basic thermal environment elements such as temperature, measurement position, lapse have a valid effect on the concentration of pollutant sources.

키워드 : 공동주택, 포름알데히드, 휘발성유기화합물

Keywords : Apartment Houses, Formaldehyde, Volatile Organic Compounds(VOCs),

1. 서론

1.1 연구의 목적

최근 신축 공동주택 입주자들 중에는 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감퇴, 아토피성 피부염 등 각종 질환을 호소하는 sick building syndrome(SBS) 및 tight building syndrome(TBS)등의 문제를 일으켜 건강을 크게 위협당하고 있는 실정이다. 이는 공동주택에 사용되는 각종 마감재료, 접착제, 가구재 등의 건축자재에서 방출되는 포름알데히드와 휘발성유기화합물이 그 원인으로 알려져 있다.

이에 대한 정부의 대책으로 2004년 5월부터 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”이 시행될 예정으로 있다. 이 중 공동주택과 관련하여 신축되는 공동주택의 시공자는 주민이 입주하기 전에 실내 오염물질을 측정하여 그 결과를 관할 시장·군수·구청장에게 제출하고 입주민에게 공고하도록 규정되었다. 또한 “실내공기질 공정시험방법”이 2004년 4월까지 완료될 예정으로 있다.

따라서, 본 연구에서는 신축 및 기존 공동주택을 대상으로 실내공기환경에 대한 현장실측을 실시하여, 공동주택의 실내공기환경 향상 및 쾌적한 주거환경을 구축할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 다양한 실내공기오염물질 중 인체에 미치는 영향이 비교적 많은 휘발성 유기화합물(VOC's: BTEX 위주) 및 포름알데히드(HCHO)를 대상으로 국내외의 각종 문헌 및 연구자료를 통하여 기본 성질 및 특성을 파악하고, 주요 발생원 및 인체에 미치는 영향을 고찰하며, 각국의 기준치를 조사하였다. 또한 시공 후 입주 전에 있는 신축공동주택을 선정하여 오염물질의 농도를 2004년 1월 ~ 2004년 3월 중 실측·분석하였다.

2. 대상 오염물질의 특성 및 기준치

2.1 포름알데히드(HCHO)

포름알데히드는 자극성 냄새(냄새역치: 0.8ppm)를 갖는 가연성 무색 기체로 살균제나 방부제로 사용되고 피혁제 조나 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 섬유옷감, 실내가구의 도장, 난방 연료의 연소과정, 흡연, 생활용품, 의약품, 접착제 등을 들 수 있다. 따라서 실내에서의 포름알데히드 농도는 신축 건물에서 높게 나타나며 조리기구, 난방기(heater)등에서도 방출된다. 건축자재에서 발생된 포름알데히드는 건축자재의 수명, 실내온도 및 습도에 따라 그 방출량이 영향을 받으며 일반적으로 반감기는 4.4년으로 추정되고 있다. 또한, 1ppm 또는 그 이하에서 눈, 코, 목의 자극 증상

* 정회원, 중앙대학교 대학원, 석사과정
** 정회원, 중앙대학교 대학원, 박사과정
*** 정회원, 중앙대학교 건축학부 조교수, 공학박사
**** 정회원, 중앙대학교 건축학부 교수, 건축학박사

을 보이며, 동물 실험에서는 발암성(비암)이 있는 것으로 나타났다.

2.2 휘발성 유기화합물(VOC's)

휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds)은 수많은 유기화합물의 총칭으로 발생원이 매우 다양하며 각 나라마다 VOC's에 대해 조금씩 다르게 정의하고 있다. VOC's는 상온, 상압에서 액체상이나 고체상으로 존재할 수 있지만 대기 중에서는 가스상으로 존재하는 모든 유기화합물질을 정의할 수 있으며, 20℃에서 760torr(101.3 Kpa)보다는 작고 1torr(0.13Kpa)보다 큰 증기압을 가지는 모든 유기 화합물질이라고 할 수 있다.

실내에서 VOC's의 농도가 증가하는 주요 원인은 복합 화학물질을 이용한 새로운 건축자재의 보급, 시공과정에서의 노무비 절감, 숙련공의 부족으로 인한 공법의 변화로 많은 양의 접착제 사용을 들 수 있다. 대부분의 건축 자재에서는 시공 후 초기단계에 다량의 오염물질을 방출하게 되며, 시간 경과에 따라 방출량이 점차로 감소된다. 실내에서 발생하는 VOC's물질과 발생원은 표 1과 같으며, 표 2는 각 오염물질별 실내환경에 대한 기준이다.

표 1. 실내에서 발생하는 VOC's(BTEX) 물질과 발생원

VOC's(BTEX)	주요 발생원
벤젠	연기, 세척 및 청소용품, 페인트 제거제, 접착제, 파티클 보오드
톨루엔, 자일렌	페인트, 바닥용 왁스, 니스, 염료착제, 등유용 난방기구, 벽지, 코킹 및 실린트 제품
스티렌	담배연기, 코킹제, 발포형 단열재, 섬유형 보오드

표 2. 국외의 포름알데히드 및 VOC's 기준

	포름알데히드(HCHO)	휘발성유기화합물(VOC's)
실내환경 기준	0.1ppm(ASHRAE) 0.08ppm(WHO Europe)	500µg/m ³ (NHMRC*1993) 400µg/m ³ (NHD**1990)

3. 공동주택 실내공기오염물질 농도 실측

3.1 측정 개요

측정은 서울시에 위치한 신축 공동주택 미 입주세대 대상으로 하였으며, 비교를 위하여 7년 경과된 기존공동주택을 선정하여 시행하였다. 모두 18세대를 측정하였다.

측정세대는 각 단지를 구성하고 있는 평형별로 측정위치를 저·중·고층부로 나누어 거실 및 침실의 중앙부 1.2~1.5m 높이에서 지점별로 1회씩 현장측정을 실시하였다. 실측에 앞서 실내 온도가 측정에 적합한 상태까지 도달한 후, 각 세대의 외기로 면한 창을 모두 열어 30분 이상 환기를 실시하였다. 이후 각 세대의 외기와 면한 창을 모두 닫고 5시간 이상 밀폐 시킨 후 측정을 실시하였다.

온도 차이에 따른 방출량을 조사하기 위해 일부 단지는 난방을 실시하지 않았으며 표 3은 측정 대상 공동주택의 세대 개요이다.

표 3. 측정대상 공동주택의 세대 개요

대상	지역	평형	난방	온도범위(℃)	습도범위(%)	측정시기	층수
신축	봉천동 A단지	30평대	유	29~31	11~35	동계 입주 전	저중고
		40평대	유	26~29	17~22		
		40평대	무	5~7	30~32		
	서초동 B단지	10평대	유	25~30	14~17		
용산구 C단지	40평대	무	11~14	51~58			
기존(7년)	광명4동 D단지	30평대	유	20~23	30~36	동계 거주 중	

3.2 측정 및 분석방법

본 연구에서 이루어진 측정 및 분석조건은 다음의 표 4와 같다.

표 4. 측정 및 분석 조건

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-Σ100) 700ml/min으로 30분 동안 총 21ℓ
	VOC's	디지털 미량펌프(Sibata MP-Σ30) 200ml/min으로 30분 동안 총 6ℓ
		전·후 유량변동은 5%이내
보관	4℃ 이하의 냉장고에 보관(차량용 보관용기에 개별포장)	
추출 및 분석	HCHO	Vacuum Elution Rack(Supelco, U.S.A) HPLC-grade Acetonitrile(JTbaker, U.S.A) 5ml HPLC- 360nm(UV 검출기) 과장 Symmetry™ C18(5×250nm, Waters, U.S.A) HPLC- grade Acetonitrile과 Water의 비(70:30) 시료주입 20µl, 컬럼온도 25℃, 유량 1.3ml/min 반응시간(Retention Time) 3.36분 검량선의 상관계수 0.9997 이상
	VOC's	ATD-400(Perkinelmer, U.K) 열 탈착 및 Conditioning GC/MSD(Perki-nelmer, U.K) BP-1 컬럼과 PLTO 컬럼을 이용(고정상) 40℃에서 10분간 등은 조작 후 승온화(5℃/min) 190℃에서 2분간 지체, 분석시간 42분 선형성평가 0.989 이상 (VOC's 표준가스를 3단계로 희석하여 사용)

대상오염물질 크로마토그램은 다음의 그림 1과 같다.

- 1) NHMRC* National Health and Medical Research Council
NHD** Norwegian Health Directorate
- 2) 근래 공동주택은 고층형으로 그 높이가 다양하다. 본 연구에서는 측정단지마다 저층부는 최저층과 위로 4개층, 중층부는 중간층과 그 위와 아래 2세대, 고층부는 최상층과 그 최상층으로부터 아래의 4개층으로 한정하여 측정하였다.

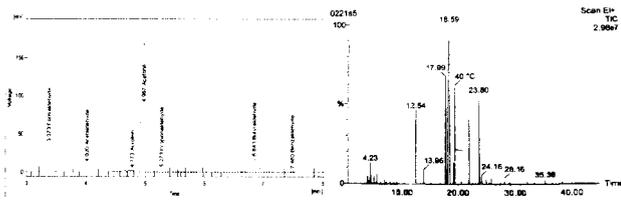


그림 1. 분석대상 세대의 HCHO 및 VOC's의 크로마토그램

4. 측정결과

4.1 포름알데히드(HCHO)의 농도

측정 결과를 바탕으로 단위세대 위치(저·중·고), 실종류(거실 및 침실), 시간경과(신축, 기존), 온도차 등에 따른 농도 차이를 분석하였으며, 표 5와 그림 2는 단지별 측정된 포름알데히드 농도를 보여준다.

표 5. 대상공동주택의 포름알데히드 농도

단지	평형	난방	위치	구분	HCHO (ppb)	단지	평형	난방	위치	구분	HCHO (ppb)	
A 단지	30 평형	유	L	거실	70.8	B 단지	10 평형	유	L	거실	125.0	
				침실	57.5				M	거실	105.2	
			M	거실	59.6				H	거실	156.5	
		H	거실	205.1	C 단지		40 평형	무	L	거실	42.3	
			침실	319.4					M	거실	56.6	
			M	거실					64.7	M	침실	62.4
	40 평형	유	L	침실		76.9	D 단지	30 평형	유	H	거실	59.5
				M		거실				141.7	M	침실
			H	거실		171.2				L	거실	16.9
		무	L	침실	87.9	M		거실	22.7			
				M	거실	62.5		M	침실	24.3		
			H	거실	4.3	H		거실	23.4			
H	L	침실	4.2	* D단지는 기존 공동주택임. * 위치 L(저)/M(중)/H(고)	H	침실	25.7					
		M	침실					3.4				
	H	거실	12.7									
H	침실	6.2										

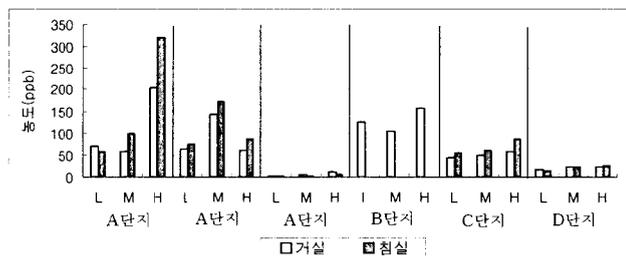


그림 2 대상 공동주택의 포름알데히드 농도

ASHRAE에서 제시하고 있는 100ppb를 기준으로 하였을 때, 그림 2에서 보는 바와 같이, 기존 공동주택과 난방을 하지 않은 세대를 제외하고는 중층 이상의 많은 주호에서 실내 환경기준을 초과함을 알 수 있다.

또한, 세대 내 주침실의 평균온도가 거실에 비해 약 20% 정도 높은 것으로 분석되었다. 이는 대 공간체적비

(S/V비)가 거실에 비하여 주침실이 더 크기 때문인 것으로, 건축 마감재에서 실내공간으로 포름알데히드 방출량이 많아졌기 때문인 것으로 보인다.

세대위치를 대해서는 평형에 상관없이 고층으로 갈수록 포름알데히드 농도가 높아지는데, 이는 계단실에서의 연돌효과에 의해 상층부의 온습도가 저층부에 비해 다소 높아지는 경향에 의한 결과로 판단된다. 그러나 A단지 40평형(난방)의 고층에서 측정된 포름알데히드의 농도는 현장측정 중 세대 입주자의 의해 환기가 이루어져 저층과 비슷한 농도를 나타내었다.

평형별 포름알데히드의 농도 분포는 일반적으로 평형대가 커질수록 주 방출원인 마감재의 면적이 커지므로 농도도 증가하는 경향으로 기존 연구에서 명시되나 현재의 데이터로는 상관관계를 찾지 못하였다. 향후 더 많은 데이터의 확보를 통해 통계적으로 분석해야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

그림 3은 입주 전의 신축공동주택을 대상으로 측정된 값과 거주연한이 7년을 경과한 기존 공동주택을 비교한 것으로 신축 공동주택에 비해 약 80%이상 포름알데히드 농도가 저감되었음을 알 수 있다.

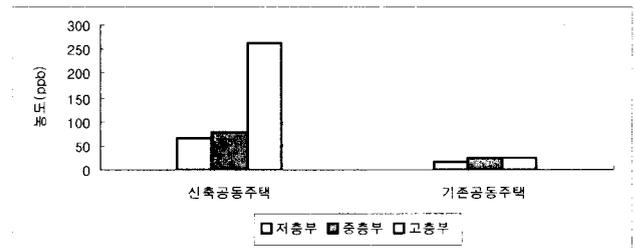


그림 3. 시간의 경과에 따른 포름알데히드 농도

그림 4는 온도에 따른 포름알데히드 농도차이를 보여준다. 실의 온도가 높은 상태에서 농도가 현저히 높은 값을 나타내고 있다.

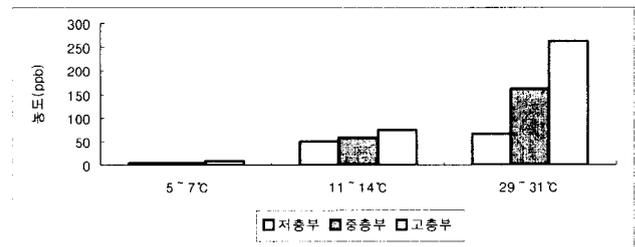


그림 4. 온도차에 따른 포름알데히드 농도

4.2 VOC's의 농도

본 연구에서 수행한 공동주택의 VOC's의 측정결과는 표 6과 같으며, 그림 5는 대상 단지의 TVOC 결과를 분석한 그래프이다. 30평형에서만 고층부로 갈수록 뚜렷한 증가추세를 보였다. 그러나 분석된 샘플수의 한계로 세대의 위치나 온도 변화에 따른 방출 특성을 분석하는 데에

는 아직 한계가 있다.

5. 결론

표 6. 단지별 휘발성유기화합물(VOC's)의 농도

항 목 (단위: ppb)	A단지(30평형)			A단지(40평형)			B단지(10평형)			
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	
벤젠	L	2.66	1.13	6.92	4.86	5.30	7.26	3.42	8.10	15.49
	R	2.08	5.64	12.07	-	9.14	4.42	-	-	-
톨루엔	L	107.70	55.32	413.81	73.05	147.41	132.45	108.72	118.40	163.45
	R	92.48	154.23	710.72	-	130.00	66.20	-	-	-
에틸벤젠	L	99.58	63.75	317.74	6.48	241.10	254.99	180.10	132.03	105.58
	R	61.35	140.31	298.91	-	128.35	5.2093	-	-	-
크실렌	L	161.36	84.10	264.24	11.79	212.68	225.22	253.06	193.11	160.97
	R	100.68	198.37	243.97	-	212.51	11.24	-	-	-
TVOC	L	434.62	222.32	1118.38	177.72	689.88	708.91	575.92	514.27	539.81
	R	294.38	604.39	1899.53	-	575.92	209.75	-	-	-

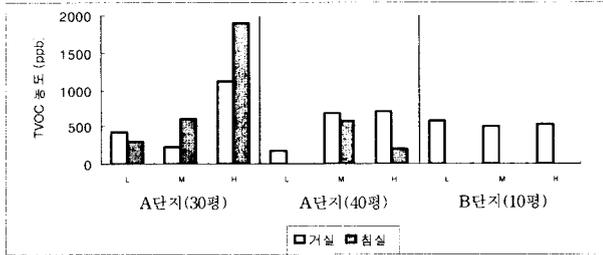


그림 5 대상 단지의 TVOC 결과 분석

4.3 시간에 따른 대상 오염물질의 농도변화

실내공기질 공정시험방법에는 측정 전 30분 환기 후 5시간 이상의 밀폐가 조건으로 명시되어 있다. 실제 밀폐 시간 동안의 오염물질의 농도변화 추이를 파악하기 위해 B단지(신축)를 30분간 환기 후 90분 간격으로 5회 측정하여 실내 대상오염물질의 농도변화를 분석하였다.

변화 추이는 그림 6, 그림 7과 같으며 시간의 경과에 따라 두 대상오염물질 농도가 차츰 증가하는 추세를 보인다.

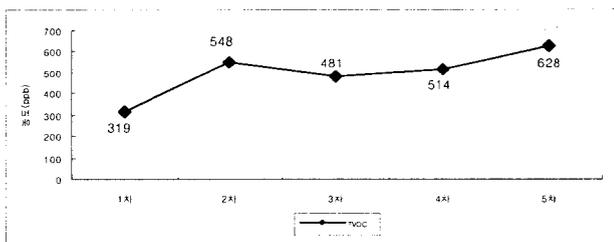


그림 6. 시간경과에 따른 TVOC 농도변화

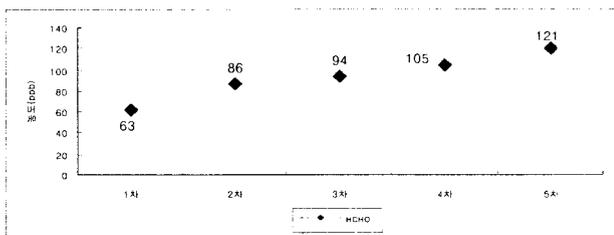


그림 7. 시간경과에 따른 포름알데히드 농도변화

본 연구에서는 신축 및 기존 공동주택에서의 포름알데히드 및 휘발성 유기화합물의 오염물질의 오염 실태를 파악하고, 실내공기 개선을 위한 기초 자료로 이용하고자 서울시에 위치한 신축·기존 공동주택을 대상으로 현장 측정을 실시하였다.

- 1) 포름알데히드(HCHO) 농도는 평균120ppb로 ASHRAE에서 제시하고 있는 100ppb의 실내환경 기준을 초과하고 있다. 기존과 신축공동주택의 차이를 확인하기 위해 실시한 7년경과 기존 공동주택에서는 평균 21.5ppb로 분석되었다.
- 2) 휘발성유기화합물(VOC's) 농도분포는 TVOC로 나타낼 경우 660~7047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 평균 3854 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 재실자가 불쾌감을 호소하기 시작하는 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준을 초과하며, SCANVAC의 실내공기환경 최대허용농도인 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비교해서 6배 이상인 것으로 분석되었다.
- 3) 온·습도 분포도에 따른 측정에서는 온·습도가 증가할수록 오염물질의 방출량도 증가하였으며, 실내 환기를 하지 않은 상태로 밀폐되어 있는 동안 오염물질의 농도가 증가함을 확인하였다.
- 4) 층별 건물높이에 따른 농도분포에서는 저층부에서 고층부로 갈수록 농도가 상승하는 효과를 확인할 수 있었다. 그 이유는 고층건물에서 발생하는 연돌효과에 의해 상층부의 온습도가 저층부에 비해 높아지는 경향에 의한 결과로 예측되어진다.
- 5) 주침실이 거실보다 약간 상회하는 결과를 보여주는데, 이는 대 공간채적비(S/V비)가 거실에 비하여 주침실이 더 크기 때문인 것으로, 건축 마감재에서 실내공간으로 포름알데히드 방출량이 많아졌기 때문인 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 건설기술연구원(2004), 실내공기질 공정시험방법
2. 환경부(2002), 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법연구
3. M ISO 16000-3 Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds - Active sampling method
4. Compendium Method TO-17, Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes.