

서울시 신축공동주택의 실내공기질 특성

실내환경팀

원선정 · 김현수 · 이상훈 · 전명진 · 김광래 · 노방식 · 김흥주 · 김두래
이종현 · 한선규 · 원문관 · 박영만 · 김홍제 · 김교봉 · 엄석원 · 채영주

Characteristics of Indoor Air Quality of New Apartments in Seoul City

Indoor Environments Team

**Sun-jung Won, Hyun-soo Kim, Sang-hoon Lee, Myoung-jin Chun,
Kwang-rae Kim, Bang-sik Roh, Heung-zoo Kim, Doo-rae Kim,
Jong-hyun Lee, Seon-gyu Han, Moon-Kwan Won,
Young-man Park, Hong-je Kim, Gyeo-bung Kim,
Seok-won Eom and Young-zoo Chae**

Abstract

Reconstruction and redevelopment projects have been increasing in Seoul recently, and the materials which are being used are more complex than ever in terms of their formulation and design. Consequently our concerns about indoor air quality are also increasing. This study was conducted throughout 1,012 sample stations in newly built apartments in 25 districts of Seoul, monitoring for actual indoor air conditions and characteristics from May 2009 to December 2012. We measured and analyzed HCHO and VOCs based on the test method of indoor air quality. Average concentrations of each pollutant generally decreased as years go by. Benzene did not exceed the recommendation guideline during the observation period. Monthly average concentrations of Formaldehyde, Toluene and Styrene were relatively high from June to August. Monthly average concentrations of Benzene, Ethyl-benzene and Xylene were highest from November to February. From May to July, more than 55% of samples exceeded their recommendation guideline. For styrene, recommended guidelines were exceeded in 5.9% of samples from lower floors(floors 1~5), while Xylene levels exceeded recommended guidelines in 8.9% of samples on higher floors. Other pollutants had similar exceedance rates 4.2% and the influence of the floor upon which the samples were collected was negligible.

Key words : Indoor Air quality, New Apartments, HCHO, VOCs

서론

신축공동주택의 실내공기오염 원인물질은 거주자의 실내 활동과 건축자재 및 생활용품 등에서 배출된다. 특히 신축공동주택의 실내공기에서는 발암성물질인 폼알데하이드(HCHO), 벤젠(Benzene) 등 휘발성유기화합물(VOCs)이 상당량 함유되어 있는 것으로 조사되고 있다(1). 이와 관련하여 국내에서는 신축공동주택의 실내공기질 문제를 개선하기 위하여 2004년 5월 환경부에서는 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법'을 제정하여 신축공동주택의 입주 전에 실내공기질을 측정 하고 이를 공고하도록 의무화 하고 있으며, 2005년 12월에는 신축공동주택의 실내공기질 권고기준을 제시하였다. 또한 국토해양부에서는 '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙'을 개정하여 100세대 이상의 신축 및 리모델링 공동주택에 대해 시간당 0.7회 이상의 환기성능을 확보 할 수 있는 환기시설을 의무적으로 설치하도록 하고 있다. 하지만, 실내공기질에 관한 실태 조사와 연구가 부족하여 실내공기질 문제를 해결하기위한 정책 및 개선방안 마련이 어렵고, 연구가 수행 된 이후에도 제대로 활용되고 있지 못한 실정이다(2).

이에 서울시는 최근 재건축, 재개발사업으로 인해 증가 추세에 있는 신축공동주택 실내공기질 관리방안과 정책 등의 제도 개선을 위한 보다 정확한 실태 파악 및 연구를 실시하였다. 지난 2009년 5월부터 2012년 12월까지 서울시 25개구에서 신축되는 100세대 이상의 모든 아파트와 공동주택 1,012지점을 대상으로 실내공기질 공정시험기준에 따라 입주 전의 실내공기질을 측정, 분석하였다.

실험방법

1. 시료채취

시료채취는 실내공기질 공정시험기준 ES 02130 실내공기 오염물질 시료 채취 및 평가방법(Indoor air sampling and evaluation method)에 따라 채취하였다.

1) 시료채취세대 선정 및 채취위치

100세대를 기본으로 하여 저층부, 중층부, 고층부에서 3개 지점을 측정지점으로 한다. 100세대가 증가할 때마다 1개 지점씩 추가한다(예로 200세대는 4개 지점, 300세대는 5개 지점, 1,000세대는 12개 지점). 이때 중층부, 저층부, 고층부 순으로 증가하는 것을 원칙으로 한다.

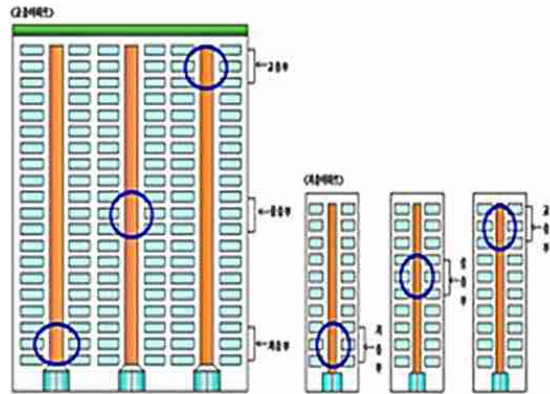
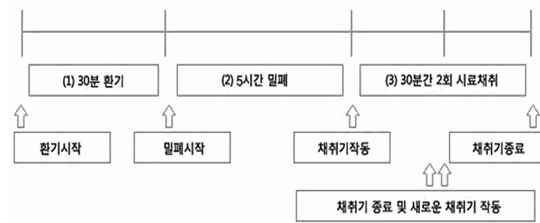


Fig. 1. Sampling Location.

시료의 채취는 공동주택 단위세대의 거실 중앙부에서 실시하며, 원칙적으로 벽으로부터 최소 1m 이상 떨어진 위치의 바닥면으로부터 1.2~1.5m 높이를 기본 측정 지점으로 한다. 만약, 실내에 자연환기구나 기계환기시스템이 설치되어 있을 경우, 각각의 급배기구로부터 최소 1m 이상 떨어진 곳에서 측정하도록 한다.

2) 시료채취조건

공동주택에서의 실내공기질환경의 측정을 위해서는 다음의 조건이 만족되는 경우를 표준적인 측정방법으로 한다.



(1) 30분 환기

공동주택 단위세대의 외부에 면한 모든 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)와 실내출입문, 수납가구의 문 등을 개방하고, 이 상태를 30분 이상 지속한다.

(2) 5시간 밀폐

외부공기와 면하는 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)를 5시간 이상 모두 닫아 실내외 공기의 이동을 방지한다. 이때, 실내간의 이동을 위한 문과 수납가구 등의 문은 개방한다.

(3) 시료채취

시료 채취는 원칙적으로 30분간 2회 실시한다. 단, 실내에 오염물질이 고농도로 존재하여 포집관의 파손이 일어나거나, 감도의 유지가 어려울 경우에는 시료채취량의 범위를 만족하는 선에서 측정시간을 변경할 수 있다. 실내에 자연환기구 및 기계환기시스템이 설치되어 있을 경우, 이를 밀폐하거나 가동을 중단하고 측정을 실시하는 것을 원칙으로 한다.

3) 항목별 시료채취방법

(1) 폼알데하이드

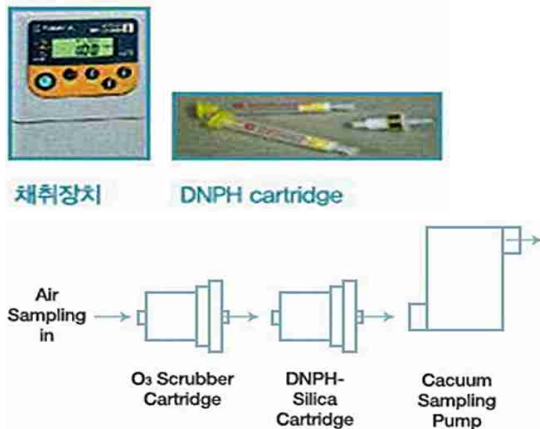


Fig. 2. Equipment and method for HCHO sampling.

오존스크러버를 장착한 DNPH Cartridge(Supelco, USA)를 폼알데하이드 펌프(SIBATA minipump

MP-Σ100H)에 장착하여 200~1,000 mL/min (500 mL/min) 유속범위 안에서 일정유속을 유지하여 채취하되, 채취유량이 15~30 L가 되도록 채취하였다.

(2) 휘발성유기화합물(VOCs)

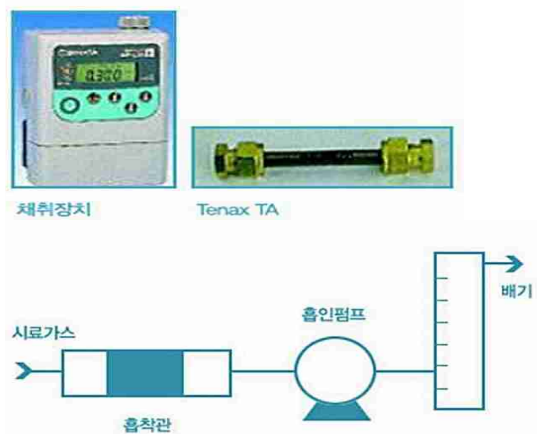


Fig. 3. Equipment and method for VOCs sampling.

컨디셔닝 된 고체흡착관(Tenax TA, Carbotrap 300 60/80 mesh, Supelco, USA)을 VOC 펌프(SIBATA minipump MP-Σ30)에 장착하여 50~200 mL/min(100 mL/min) 유속범위 안에서 일정 유속을 유지하여 채취하되, 채취유량이 3~6 L가 되도록 채취하였다.

2. 분석방법

1) 폼알데하이드

(1) 전처리 방법

시약은 표준시약 Formaldehyde-DNPH는 Supelco사의 제품을 사용하였으며, 표준용액 제조 및 시료 전처리에 사용된 Acetonitrile은 J.T Baker사의 HPLC 등급의 시약을 사용하였다. 표준원액을 희석하여 0.1~10 ppm 사에 5개의 표준용액을 제조하여 검량선을 작성하였으며, 채취된 DNPH 카트리지는 SPE(고체상 추출) 진공메니폴드에 장착한 뒤 5 mL의 HPLC 등급의 아세토니트릴로 추출하였다.

(2) 폼알데하이드 분석

폼알데하이드는 고속액체크로마토그래피(HPLC : High performance liquid chromatography, Thermo, USA)를 이용하여 자외선흡광검출기의 흡수파장 360 nm의 파장에서 분석하였으며, 시료전처리 및 분석방법은 실내공기질공정시험기준(실내 및 건축자재에서 방출되는 폼알데하이드 측정방법-2.4 DNPH 카트리지와 액체크로마토그래프법, 02601.1)을 따랐다. 분석조건은 표 1에 나타내었다.

Table 1. The Analytical condition of LC- MS/ MS for Formaldehyde determination

HPLC	
Mobile phase	A : acetonitile B : water
Gradient	isocratic flow(A:B=55:45)
Flow	1 ml/min
Injection volume	10 μ l
Run time	15 min

2) 휘발성유기화합물(VOCs)

분석장치는 GC/MS-QP2010(SHIMADZU)와 TD(DANI, Italy)를 사용하였으며 시험방법은 실내환경공정시험기준 ES 02602.1 실내 및 건축자재에서 방출되는 휘발성유기화합물 측정방법 및 서울시 시험지침서(SOP SIHE-QI-G010)를 따라 분석 하였으며, 분석 조건은 표 2와 같다.

결과 및 고찰

1. 농도 분포 및 특성

1) 연도별 농도 분포 및 특성

신축공동주택의 연도별 평균농도는 표 3과 같으며, 그림 4~9는 각 항목의 연도별 평균, 최대값, 최소값, 표준편차와 분산값을 이용하여 그래프를

Table 2. The Analytical condition of GC

Thermal Desorption(TD)	
Desorption Temp.	280 $^{\circ}$ C
Desorption Flow	30 mL/min, 15min
Focusing trap	Tenax TA
Desorption Time	15 min
GC/MS	
GC column	OV-1 60 m \times 0.32 m \times 1 μ m
GC column flow	He, 1.8 mL/Min
GC oven temp	50 $^{\circ}$ C (5 Min) \rightarrow 8 $^{\circ}$ C/Min \rightarrow 200 $^{\circ}$ C (2 Min) \rightarrow 10 $^{\circ}$ C/Min \rightarrow 220 $^{\circ}$ C (8 Min)
MS Mode (Scan or SIM)	Scan 45~550 amu
MS temp	Ion source : 230 $^{\circ}$ C MS Quad. : 150 $^{\circ}$ C
Ionization Mode	EI, 70eV

작성한 것으로서 실내공기질권고기준과 비교한 연도별 각 항목의 분포 특성을 살펴보았다.

폼알데하이드는 2009년 평균농도가 77.57 μ g/ m^3 , 2010년 70.59 μ g/ m^3 , 2011년 44.20 μ g/ m^3 , 2012년 48.86 μ g/ m^3 으로 나타났다. 이는 친환경 건축자재 등의 사용이 증가되고 폼알데하이드에 대한 관심이 높아져 그에 따른 관리정책 등도 강화됨에 따라 평균농도가 낮아지고 있다고 판단된다(3).

벤젠은 2009년 평균농도가 3.01 μ g/ m^3 , 2010년 4.00 μ g/ m^3 , 2011년 4.42 μ g/ m^3 , 2012년 3.28 μ g/ m^3 으로 나타났으며, 표준편차는 2.06~4.00으로 다른 항목과 비교하여 가장 낮은 수준을 보였다. 특히 벤젠은 실내공기질권고기준(30 μ g/ m^3)의 1/10 정도의 낮은 평균농도를 보이고 있다.

톨루엔은 2009년 333.58 μ g/ m^3 , 2010년 414.81 μ g/ m^3 , 2011년 397.64 μ g/ m^3 , 2012년 371.77 μ g/ m^3 으로 나타났으며, 표준편차는 206.8~343.1로 다른 항목과 비교하여 다소 높은 편이었다. 일반적으로 표준편차와 분산이 크다는 것은 평균 농

도값에서 떨어진 값들이 많이 존재한다는 것을 의미하며, 측정값의 분포와 상관관계 등을 산출 할 경우 영향을 미친다.

에틸벤젠은 2009년 73.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2010년 72.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2011년 102.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2012년 54.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 다른 항목보다 연도별 평균값의 변화가 가장 컸다.

스티렌은 2009년 59.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2010년 88.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2011년 112.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2012년 92.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다소 높아지고 있는 추세를 보이고 있는 것으로 확인되었으며, 자일렌은 2009년 124.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2010년 152.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2011년 203.72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2012년 119.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

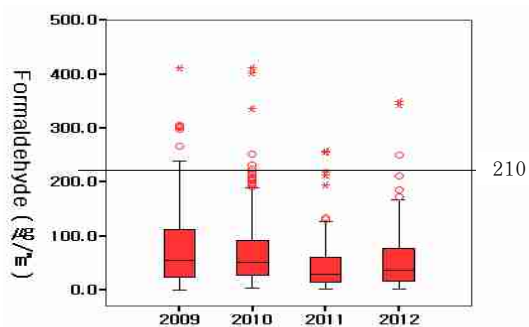


Fig. 4. Distribution of Formaldehyde by year.

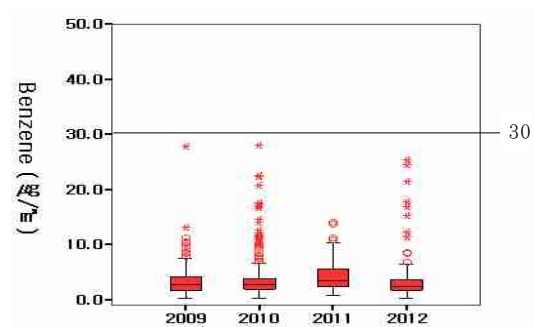


Fig. 5. Distribution of Benzene by year.

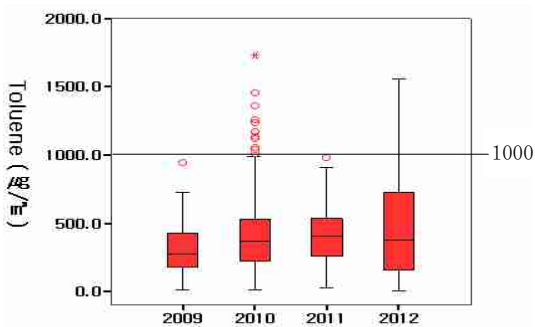


Fig. 6. Distribution of Toluene by year.

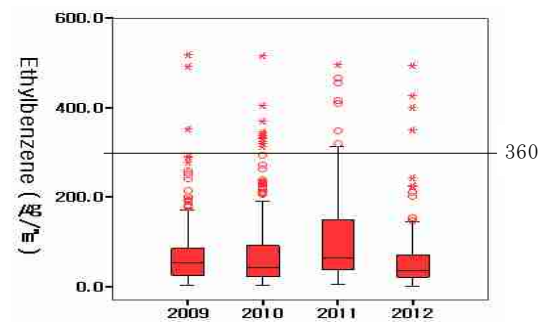


Fig. 7. Distribution of EthylBenzene by year.

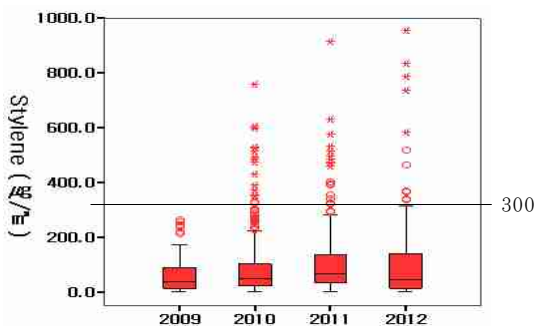


Fig. 8. Distribution of Styrene by year.

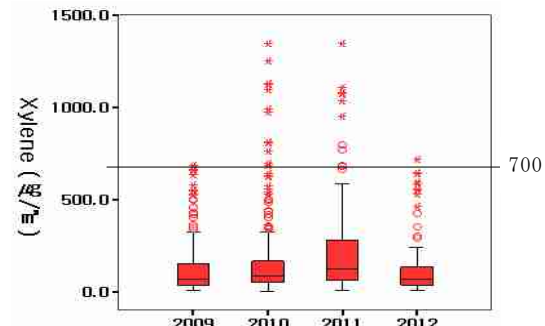


Fig. 9. Distribution of Xylene by year.

Table 3. HCHO and VOCs statistics by year

	Formaldehyde	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Styrene	Xylene
Guideline($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	210	30	1,000	360	300	700
2009	N	220	205	205	205	205
Aver. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	77.6	3.0	333.6	73.9	59.8	124.8
Max($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	411.7	13.1	2978.2	518.6	262.1	681.2
Min($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.0	0.2	12.9	1.8	0.4	3.8
Stdev.	72.0	2.1	304.1	78.0	59.2	148.6
2010	N	317	308	308	308	308
Aver. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	70.6	4.0	414.8	72.6	88.1	152.1
Max($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	412.2	28.0	4,022.0	516.0	759.7	1,251.0
Min($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3.6	0.2	8.0	1.4	0.7	2.1
Stdev.	61.8	4.0	342.8	77.4	116.9	196.5
2011	N	218	240	240	240	240
Aver. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	44.2	4.4	397.6	103.0	112.7	203.7
Max($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	257.6	20.7	1,360.1	759.4	916.3	2,065.1
Min($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2.0	0.7	28.1	3.8	2.2	7.8
Stdev.	42.6	2.8	206.8	109.1	131.5	256.0
2012	N	243	259	259	259	259
Aver. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	48.9	3.3	371.8	54.2	92.7	119.6
Max($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	854.6	26.4	1,559.1	493.5	1,167.2	881.7
Min($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.5	0.2	2.2	0.7	0.4	2.1
Stdev.	72.9	3.6	343.1	66.0	168.4	158.8

2) 월별 농도 분포 및 특성

신축공동주택의 폼알데하이드 및 VOCs의 월별 평균농도를 그림 10~15에 나타내었다. 폼알데하이드, 톨루엔, 스티렌의 월별 평균 농도는 6~8월에 시료를 채취한 경우 높은 농도값을 나타내었다. 이는 장마철이나 여름철에 해당하는 계절로서 다른 계절보다 높은 온습도의 영향을 많이 받은 것으로 판단된다. 특히 친수성 물질인 폼알데하이

드의 농도는 절대습도가 높아질수록 방출량이 많아진다는 연구결과(4)와 유사한 결과를 도출해 낼 수 있었다.

그러나 벤젠, 에틸벤젠, 자일렌의 경우 11~2월에 더 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있는데, 이는 겨울철 환기 횟수가 줄어들어 실내공기 중에 다량 정체된 때문으로 사료된다.

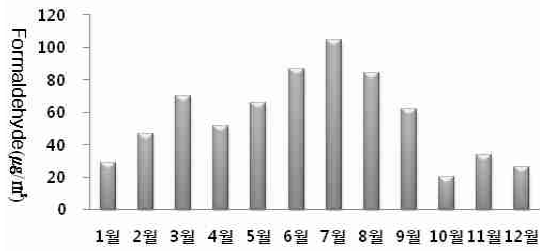


Fig. 10. Monthly variation of Formaldehyde average concentration.

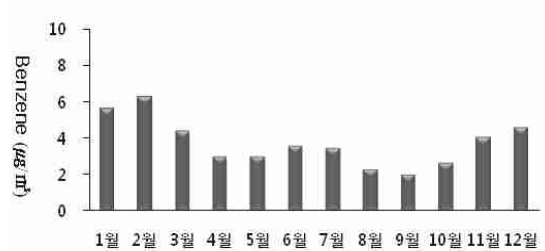


Fig. 11. Monthly variation of Benzene average concentration.

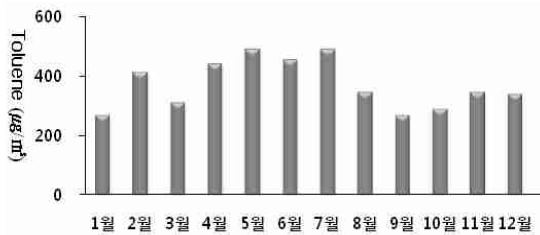


Fig. 12. Monthly variation of Toluene average concentration.

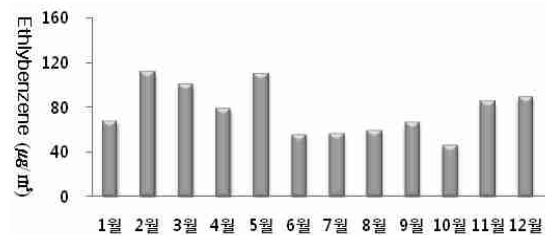


Fig. 13. Monthly variation of Ethylbenzene average concentration.

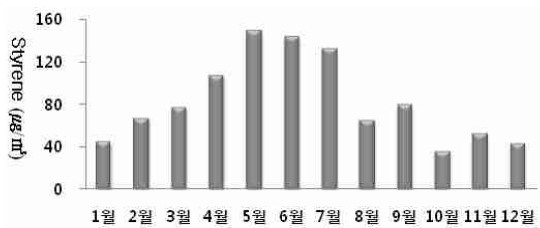


Fig. 14. Monthly variation of Styrene average concentration.

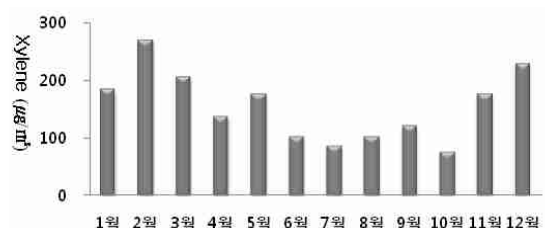


Fig. 15. Monthly variation of Xylene average concentration.

3) 층별 농도 분포 및 특성

신축공동주택의 층별 평균농도를 각 항목별로 비교한 결과는 표 4와 같다. 일반적으로 계단식 아파트에서는 연돌효과에 의해 상층부의 온습도가 저층부에 비해 다소 높아지는 경향에 따라 고층으로 올라갈수록 폼알데하이드 농도가 높아지는 것으로 알려져 있으나(8), 본 연구결과 2009~2012년 간 총 1,012지점을 5층 단위로 나누어 분석한 결과 폼알데하이드의 평균농도가 고층부에서 높게 나타나지 않았으며 상관관계 또한 높게 나타나지 않았다. 오히려 21층 이상의 고층에서 폼알데하이드의 평균농도가 낮게 측정되었다. 휘발성유기화

합물(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 스티렌, 자일렌)은 고층부로 갈수록 평균농도가 다소 증가되는 경향을 보였으며, 21층 이상의 고층에서는 톨루엔과 스티렌, 자일렌의 평균농도가 다시 낮아졌다.

2. 기준치 초과 현황 및 특성

1) 연도별 초과현황 및 특성

신축공동주택의 실내공기질 권고기준(다중이용시설의 실내공기질 관리법 시행규칙 제7조의 2와 관련하여 별표 4의2)에 따르며, 이는 표 5에 일본, WHO의 기준과 함께 나타내었다. 이를 기준으로 서울시 신축공동주택의 측정농도가 기준치를

Table 4. Comparison of average concentration by floor(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Floor	N(=1012)	Formaldehyde	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Styrene	Xylene
1~5	375	60.09	3.52	361.72	67.16	82.65	122.45
6~10	309	62.56	3.46	369.81	71.34	100.71	140.59
11~15	205	61.84	4.11	419.58	80.30	96.45	156.89
16~20	74	63.06	4.05	431.36	100.18	70.31	262.86
21≤	49	54.93	4.42	411.08	108.43	68.09	238.04

Table 5. New Apartment Indoor Air Quality recommendation Guideline

Pollutant	Korea($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Japan($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	WHO($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Formaldehyde	210 이하	100 이하	100 이하
Benzene	30 이하	-	-
Toluene	1,000 이하	260 이하	260 이하
VOCs Ethlybenzene	360 이하	380 이하	-
Styrene	300 이하	220 이하	260 이하
Xylene	700 이하	870 이하	-
Multi-Purposed Facility TVOC	500	400	500

초과하여 기준치 초과 판정을 받은 지점은 2009년 총 검사대상 205지점 중에 15건(7.3%) 이었으며, 2010년 308지점 중에 37건(12.0%), 2011년 240지점 중에 27건(11.3%) 2012년 259지점 중에 27(10.4%)건 이었다. 총기준치 초과 건수는 한 지점에 2개 이상 항목에서 기준치 초과를 받은 지점이 포함된 기준치 초과 건수이며, 이는 표 6에 자세히 나타내었다. 또한 각 항목별 기준치 초과 지점의 측정값의 평균을 산출하여 각 연도별로 표 6에 함께 나타내었다. 연구가 수행된 기간 동안 벤젠 항목은 1건의 기준치 초과도 발생되지 않았으며, 2009년은 폼알데하이드 항목의 기준치 초과 건수가 11건으로 가장 많았고, 톨루엔의 기준치 초과 대상지점의 평균농도가 $2,930.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았다. 2010년은 스티렌과 자일렌의 기준치 초과 건수가 2009년에 비해 급증하였으나, 이후 2012년까지는 비슷한 수준의 기준치 초과율과 평

균농도를 보이고 있음을 확인 할 수 있다. 2011년은 에틸벤젠의 기준치 초과 건수가 7건으로 다소 높은 편이었으며, 2012년에는 톨루엔의 기준치 초과 건수가 15건으로 높은 편이었으나 평균농도는 $1,236.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 연도와 비슷한 수준이었다. 그러나 2010년 이후 총기준치 초과율은 조금씩 감소하는 추세인 것으로 보인다. 항목별로는 스티렌의 경우 2010년 이후 매년 7% 정도의 높은 기준치 초과율을 보이고 있다.

2) 월별 초과현황 및 특성

연도별 기준치 초과 건수를 다시 월별로 나누어 항목별 기준치 초과 건수와 평균 농도를 비교 분석해 보았다(표 7). 벤젠의 경우 2009년부터 2012년까지 1건의 기준치 초과도 없었으며, 4년간 폼알데하이드 역시 10~1월까지는 1건의 기준치 초과도 발생되지 않았다. 하지만 폼알데하이드

Table 6. Yearly exceeded Number of Indoor Air Quality recommendation guideline and average concentration

	2009		2010		2011		2012	
	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Formaldehyde	11	275.23	9	278.33	4	235.93	5	401.48
Benzene	0	-	0	-	0	-	0	-
Toluene	2	2,930.05	11	1,475.84	1	1,360.10	15	1,236.95
Ethlybenzene	2	505.60	2	442.90	7	486.64	3	440.67
Styrene	0	-	18	465.43	19	470.73	19	580.69
Xylene	0	-	8	1,015.61	11	1,124.19	2	798.70
Exceeded No.	15		37		27		27	
Total No.	205		308		240		259	
Exceeding Rate	7.3%		12.0%		11.3%		10.4%	

Table 7. Monthly exceeded Number of Indoor Air Quality recommendation guideline and average concentration

	Formaldehyde		Toluene		Ethlybenzene		Styrene		Xylene	
	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Jan.	0	-	1	1,360.10	1	404.70	1	371.20	5	1,121.04
Feb.	1	217.60	0	-	0	-	1	495.00	3	836.17
Mar.	3	230.37	0	-	1	416.30	3	477.50	0	-
Apr.	3	242.03	2	1,006.80	2	437.65	5	569.04	2	1093.65
May.	3	256.50	8	1,189.66	2	460.65	12	660.48	1	715.70
Jun.	4	241.43	7	1,652.13	0	-	19	401.46	0	-
Jul.	8	306.09	6	1,352.38	1	400.70	11	530.69	1	761.40
Aug.	5	407.24	1	1,201.30	2	505.60	1	448.00	0	-
Sep.	2	314.35	2	1,188.55	0	-	3	457.30	1	881.70
Oct.	0	-	2	2,930.05	0	-	0	-	0	-
Nov.	0	-	0	-	3	570.07	0	-	1	2,065.10
Dec.	0	-	0	-	2	442.90	0	-	7	1,051.93
Total	29		29		14		56		21	

는 6월~8월까지 장마철이 시작되는 때부터 여름철에 해당되는 계절에 기준치 초과 건수가 증가하고, 평균 농도 또한 다른 월보다 높다는 것을 확인할 수 있었다. 휘발성유기화합물(VOCs) 중 톨루엔, 에틸벤젠, 스티렌 등은 기준치 초과 건수 및 평균농도가 폼알데하이드와 유사한 경향성을 보이며 여름철에 해당하는 월에 높게 나타나고 있으나, 자이렌의 경우는 11월~2월 정도까지 겨울철에 해당하는 계절에 기준치 초과 건수가 증가하고, 평균 농도 또한 높게 나타났다. 특히, 에틸벤젠을 제외한 폼알데하이드 및 VOCs의 5~7월에 발생한 기준치 초과 건수가 전체의 55.1% 정도 차지하고 있다.

3) 층별 초과현황 및 특성

층별 오염물질의 농도 분포 및 특성을 알아본 것과 관련하여 층별 기준치 초과현황 또한 함께 분석하였다. 층별로 각 항목의 기준치 초과 개수 및 평균농도는 표 8에 나타내었다.

5층 단위로 나누어 분석 한 결과 각 항목별 기준치 초과 건수는 저층부에서 더 많이 발생한 것으로 보이나 이를 총 검사 대상수에 대한 기준치 초과률(%)로 바꾸어 비교분석해 보면, 스티렌 항목은 다른 항목에 비해 저층부(1~5층)에서 더 높은 기준치 초과률(5.9%)을 보이고, 자이렌은 고

층부(21층 이상)에서 다소 높은 기준치 초과률(8.2%)을 보이는 것을 알 수 있다. 이외 다른 항목은 저층부(1~5층)와 중층부(6~15층), 고층부(21층 이상)의 기준치 초과률(%)은 1.1~4.6% 정도로 거의 비슷한 수준을 보이고 있다.

결론

2009년 5월부터 2012년 12월까지 서울시 25개 구청에서 신축 또는 재건축되는 100세대 이상의 모든 아파트와 공동주택 1,012지점을 대상으로 실내공기질 공정시험기준에 따라 폼알데하이드와 휘발성유기화합물질을 측정, 분석하였다.

1. 연도별 특성을 살펴보면, 폼알데하이드와 휘발성유기화합물(VOCs) 등에 대한 국내외의 관심과 연구가 꾸준히 증가함에 따라 친환경자재 등의 사용이 증가되고, 관리정책이 강화되어 연도별 평균농도는 감소하고 있는 추세를 보이고 있었다. 특히, 벤젠의 연평균농도는 실내공기질 권고기준 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 1/10 수준의 $3.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.
2. 월별로는 폼알데하이드, 톨루엔, 스티렌의 월별 평균농도가 장마철이나 여름철에 해당하는 6~8월에 높게 나타났으며, 이는 절대습도가 높아질

Table 8. Exceeded Number of Indoor Air Quality recommendation guideline and average concentration by floor

Floor	Total N	Formaldehyde		Toluene		Ethlybenzene		Styrene		Xylene	
		N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N (ea)	Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1~5층	375	8	265.28	8	1,542.98	4	473.65	22	485.21	1	1,108.30
6~10층	309	10	288.43	9	1,157.54	4	445.13	20	507.74	7	843.06
11~15층	205	8	253.73	5	1,230.32	2	452.25	12	530.41	3	877.97
16~20층	74	2	599.00	5	2,114.58	3	558.70	1	789.50	6	1,332.28
21층 이상	49	1	249.30	2	1,261.25	1	369.80	1	371.20	4	1,112.78
총계	1,012	29		29		14		56		21	

- 수록 방출량이 높아지는 친수성물질인 폼알데하이드 등의 특성을 잘 나타내고 있다. 그러나 벤젠, 에틸벤젠, 자일렌의 경우는 11~2월의 겨울철에 해당하는 기간에 높은 농도를 나타내고 있으며, 이는 겨울철 환기 횟수가 줄어들어 실내 공기 중에 다량 정체된 때문으로 사료된다.
3. 신축공동주택의 모든 층을 5층 단위로 나누어 분석한 결과, 고층부로 갈수록 평균농도가 다소 증가되는 것으로 보이나, 21층 이상의 고층부에서는 폼알데하이드 및 톨루엔과 스티렌, 자일렌의 평균농도가 다시 감소되었다.
 4. 연도별 기준치 초과율은 2010년 이후 12.0%에서 2012년 10.4%로 조금씩 감소하는 추세인 것으로 보인다. 항목별로는 스티렌의 기준치 초과율이 매년 7.0% 정도로 가장 높았고, 발암물질인 벤젠은 2009년 5월부터 2012년 12월까지 1건의 기준치 초과도 발생하지 않았다.
 5. 기준치 초과 대상 지점을 월별로 나누어 비교 분석한 결과 5~7월에 발생한 기준치 초과 건수가 전체의 55.1% 정도를 차지하고 있다.
 6. 층별로는 스티렌 항목이 다른 항목에 비해 저층부(1~5층)에서 높은 기준치 초과율(5.9%)을 보였고, 자일렌은 고층부(21층 이상)에서 높은 기준치 초과율(8.2%)을 보였으며 다른 항목은 층별 기준치 초과율이 거의 비슷한 수준을 보이고 있어 층별 영향이 크지 않았다.
- 공기질 실태 및 인자별 오염물질 발생특성 평가 대한건축학회, 대한건축학회 논문집 - 계획계, 24(7):231~238, 2008. 7.
3. 조현, 손장열 : 다중이용시설 실내공기질 관리법 시행 이후 신축공동주택의 휘발성유기화합물 및 폼알데하이드 방출 특성 한국생활환경학회, 한국생활환경학회지, 17(2):206~213, 2010. 4.
 4. 조현, 최종문, 김우재 : 신축공동주택의 실내 휘발성유기화합물(VOCs) 실태조사 및 습도 변화에 따른 발생 특성 평가, 한국생활환경학회, 한국생활환경학회지, 13(4):283~289, 2006. 12.
 5. 김형진, 이우식, 이재동 : 신축 아파트의 실내 공기질 평가, 한국환경관리학회, 환경관리학회지, (3):137~143, 2009. 9.
 6. 김신도 외 : 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구, 환경부, 2002.
 7. 김신도, 윤동원 : 실내공간의 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds(VOCs)) 특성 파악 및 제어방안에 대한 기초조사, 환경부, 2000. 12.
 8. 국립환경과학원 : 실내공기질 공정시험방법도출연구 최종 보고서, 2004.
 9. 국립환경과학원 : 신축공동주택 실내공기질 권고기준 설정연구(II), 2005. 9.
 10. 김윤덕, 김현진, 이윤규, 정창현, 한길원 : 신축공동주택의 실내공기질 실태에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2006. 9.
 11. 류정민, 유승화, 이석조, 장성기, 정경미 : 전국신축공동주택의 실내 공기질 실태, 한국실내환경학회논문집, 2004.10.
 12. 김건우, 최승혁, 이종식, 김남규, 박진철, 김신도 : 신축공동주택의 실내공기환경(HCHO, VOCs 및 TVOC) 실태조사, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회 논문집, p223~226, 2008. 4.
 13. 심상효, 김윤신 : 신축공동주택의 실내공기질 특성 및 평가, 한국환경보건학회, 한국환경보건학회지, 32(4):275~281, 2006. 8.
 14. 박진철, 김남규 : 신축공동주택의 실내공기환

참고문헌

1. Singer BC, Destailats H, Hodgson AT and Nazaroff WW : "Cleanning products and air fresheners : emissions and resulting concentrations of glycol ethers and terpenoids," Indoor Air, 16, p179~191, 2006.
2. 조완제, 손장열 : 한국 신축공동주택의 실내

경 실태조사에 관한 연구, 한국건축친환경설
비학회 논문집, 3(3):96~103, 2009. 9.
15. 김선숙, 최동희, 박영석, 이규동, 여명석, 김

광우 : 신축공동주택의 입주 전 실내공기질 개
선방안별 특성, 한국생활환경학회, 한국생활환
경학회지, 12(2):106~111, 2005. 6.