

신축 공동주택에서 실내공기오염물질(휘발성유기화합물 및 카보닐화합물) 농도분포 특성

장성기* · 천재영 · 이태형 · 임수길 · 류정민 · 서수연 · 임정연

국립환경과학원 실내환경과

(2006. 11. 16. 접수. 2006. 12. 2. 승인)

Characteristics of concentration distribution for indoor air pollutants (VOCs and Carbonyl compounds) in new apartments

Seong-Ki Jang*, Jae-Young Chun, Tae-Young Lee, Soo-Gil Lim,
Jung-Min Lu, Soo-Yun Seo and Jeong-Yun Lim

Indoor Air Quality Division, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

(Received November 16, 2006; Accepted December 2, 2006)

요 약: 신축공동주택에서 발생하는 실내공기 오염물질 중 휘발성유기화합물 및 카보닐화합물의 농도분포특성을 파악하고자 신축공동주택 120세대를 대상으로 실내공기 오염도 실태조사를 실시한 결과, 입주 전 신축공동주택의 실내공기 오염물질 농도는 톨루엔이 $272.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m, p*-자일렌 $98.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 포름알데히드 $71.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 아세톤 $70.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $49.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. TVOCs 물질 구성비의 경우, 표준물질로 확인된 물질이 42.5%를 차지하였으며, 이 중 톨루엔이 18.5%로 가장 많은 비중을 차지하였다. 카보닐화합물의 경우, 포름알데히드와 아세톤이 각각 43.1%, 42.4%를 차지하였다. 또한, 주요 실내공기 오염물질의 실내/실외 농도비를 조사한 결과 벤젠은 1.29로 낮은 농도비로 조사되었으며, 톨루엔은 3.59, 포름알데히드는 10.76, *o*-자일렌은 28.74의 실내/실외 농도비를 나타내었다.

Abstract: This study was performed to investigate the distributions of volatile organic compounds and carbonyl compounds at the 120 households in new apartments before occupation. The concentration of toluene, *m, p*-xylene, formaldehyde, acetone and ethylbenzene dominated as $272.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $98.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $71.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $70.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $49.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The identified compounds by standards occupied 42.5% of the TVOCs, also the concentration of toluene occupied the largest part of the identified compounds as 18.5%. The concentration of formaldehyde and acetone were 43.1% and 42.4% among carbonyl compounds. The indoor/outdoor ratio of the concentration of benzene, toluene, formaldehyde and *o*-xylene were investigated 1.29, 3.59, 10.76 and 28.74, respectively.

Key words: Indoor air quality, Indoor/Outdoor ratio, Formaldehyde, VOCs.

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)32-560-7325 Fax : +82-(0)32-561-7013

E-mail: skjang@me.go.kr

1. 서 론

최근 현대인은 실내에서 생활하는 시간이 많아짐에 따라 건강하고 쾌적한 환경에 대한 요구가 증가되면서 실내공기질에 대한 관심도가 점차 높아지고 있으며, 실내공기오염에 의한 새집증후군(Sick House Syndrome; 이하 SHS), 건물병증후군(Sick Building Sensitivity; 이하 SBS) 등 환경성 질환이 새로운 환경 문제로 대두되고 있다.¹ 실내 환경은 물리적, 화학적 및 생물학적으로 다양한 오염물질들이 존재할 가능성이 있으나 대부분의 사람들은 실내공기오염(Indoor Air Pollution, IAP)이 인체에 미치는 영향은 실외 대기오염보다 더욱 중요하다는 사실을 인식하지 못하고 있다.²

실내공기오염물질은 건축재료 뿐만 아니라 거주자의 활동과 흡연, 연소기구 등에서 발생되고, 적절한 방법에 의해 제어하지 않을 경우 거주자에게 불쾌감과 자극을 유발하고, 특히 오염농도가 높은 곳에서 장시간 체류하면 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있다. 실내에서 발생하는 오염물질은 비록 저농도라 하더라도 거주자가 실내에서 보내는 시간이 길기 때문에 건강 측면에서도 더욱 중요한 의미를 가지게 된다.³

또한 실내공기오염은 주택, 학교, 사무실, 공공건물, 병원, 지하 시설물, 교통 수단 등의 다양한 실내공간이 공기가 오염된 상태를 말하며 매우 복합적인 원인들에 의해서 야기될 수 있는데 그 영향은 실내 거주자들의 생명을 위협할 정도는 아닐지라도 장기적으로 볼 때 건강에 나쁜 영향을 미치고 있는 것으로 보고되고 있다.^{4,5}

특히, 건물 건축시 사용되는 페인트, 접착제 등 각종 건축자재 및 가구, 침대 등 생활용품에서 발생하는 포름알데히드 및 휘발성유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds)은 새집증후군, 건물병증후군을 유발하는 주요 오염물질로 알려져 있다.⁶

이에 환경부에서는 2004년 5월, 「다중이용시설등의 실내공기질관리법」을 제정하여 포름알데히드 및 벤

젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등 5종의 개별 VOCs에 대한 권고기준을 설정하여 공동주택 시공자가 시공이 완료된 신축 공동주택에서 발생하는 오염물질을 관리하도록 하고 있다.⁷ 또한 이들 오염물질에 대한 표준화된 시험방법으로 「실내공기질공정시험방법」을 제정·운영하고 있다.⁸

국내 실내공기질에 대한 연구는 주로 실내공기오염의 지표로 사용되는 일산화탄소, 질소산화물, 아황산가스, 이산화탄소, 총부유먼지를 측정하여 실내공기오염도를 평가한 연구^{9,11} 및 실외 및 실내공기질에 영향을 미치는 VOC의 농도분포특성에 대한 연구가 일부 수행된 바 있으나,¹²⁻¹⁵ 새집증후군을 유발하는 신축 건물 내 VOCs 및 카보닐화합물의 농도분포특성에 대한 측정연구는 미비한 실정이다.^{16,17} 따라서 본 연구에서는 입주 전 신축공동주택을 대상으로 실내공기질에 영향을 미치는 오염물질의 종류와 특성을 파악하여, 실내공기오염물질 관리방안 수립을 위한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상 및 대상오염물질

본 연구에서는 신축공동주택의 입주 전 실내공기오염도를 파악하기 위하여 전국 신축공동주택 120세대를 대상으로 저·중·고층부로 구분하여 선정하였으며, 지역별로는 서울 36세대, 인천 36세대, 경기 고양 12세대, 경남 김해 12세대, 전남 목포 12세대, 전남 여수 12세대로 구성하였다(Table 1)(Fig. 1). 평형별로는 20평형이하, 20~30평형, 30~40평형, 40평형 이상으로 구분하였으며, 30~40평형대가 주 평형대를 이루었다.

측정대상물질은 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 등 44개 개별 휘발성유기화합물과 총휘발성유기화합물(Total Volatile Organic Compound; 이하 TVOC), 6개의 카보닐화합물(포름알데히드, 아세트알데히드, 아세톤, 프로피온알데히드, 부틸알데히드)을 측정 분석하였다.

Table 1. The number of households by each sampling site

	Seoul			Gyeonggi			Incheon			Gimhae	Mokpo	Yeosu
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Lower floor	6	2	4	4	4	2	2	4	4	4	4	
Middle floor	6	2	4	4	4	2	2	4	4	4	4	
Higher floor	6	2	4	4	4	2	2	4	4	4	4	
Total	18	6	12	12	12	6	6	12	12	12	12	

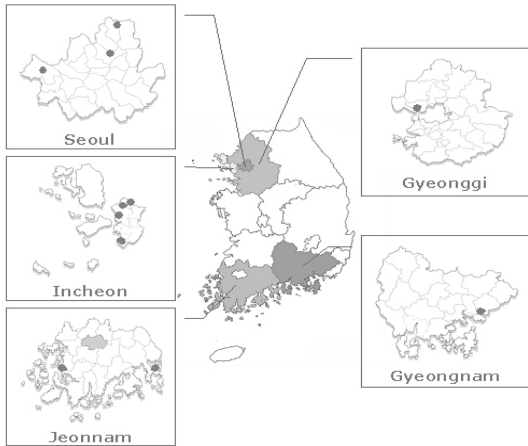


Fig. 1. Sampling sites in Korea.

2.2. 시료채취방법 및 분석방법

시료채취는 2005년 2월부터 5월 사이에 이루어졌으며, 거실중앙부 바닥면에서 1.2~1.5m 높이에 시료채취 장치를 설치하여 채취하였다(Fig. 2).

또한 실내조건을 동일하게 만들기 위해 시료채취 전 대상세대에 대해 발코니 문과 부엌 창문을 열어 맞바람이 불게 만든 상태에서 30분간 환기를 시킨 후 외기공기와 면하는 개구부(창호, 출입문, 환기구 등) 문은 모두 닫고, 실내간 이동을 위한 문과 수납가구 문은 개방한 상태에서 60분간 밀폐한 후 60분간 시료를 채취하였다.

휘발성유기화합물 시료채취는 MP-Σ30H(Sibata, Japan) 펌프를 사용하여 100 mL/min 유량으로 60분간 Tenax-TA 200 mg이 충전된 흡착관(1/4"×9 cm, Perkin Elmer, UK)을 이용하여 채취하였다. 흡착관은 사용 전에 자동 전처리 장치인 Tube conditioner(ATC 1200,

ACEN)를 이용하여 320°C에서 1시간 전처리하여 사용하였다. 시료채취 시 시료채취용으로 사용되는 흡착관 이외의 field blank용 흡착관을 마련하여 시료채취 및 운반·보관기간 동안 발생 할 수 있는 오염에 대한 보정을 하였다. 카보닐화합물의 시료채취는 MP-Σ100H(Sibata, Japan) 펌프를 사용하여 500 mL/min 유량으로 60분간 DNPH 카트리지(Supelco, USA)를 이용하여 채취하였다. 이때 카보닐화합물 시료분석결과에 영향을 미치는 오존을 제거하기 위해 오존스크러버(Waters, USA)를 카트리지 앞에 장착하였다. 시료채취 시 마다 시료채취용으로 사용되는 DNPH 카트리지 이외의 field 카트리지를 준비하여 시료채취 및 운반·보관기간 동안 발생될 수 있는 교차 오염에 대한 보정을 하였다. 한편, 시료는 채취 후 1주일 이내에 분석되었으며, 채취된 시료는 밀봉된 상태로 분석 전까지 4°C의 냉장고에 보관하였다.

2.3 시료분석조건

VOC의 농도 정량을 위한 검량선(calibration curve)은 표준시료 함침 장치를 이용하여 액상 표준물질(Japanese indoor air standards mix, Supelco, USA)을 흡착관에 함침 받아 만든 5단계 농도수준의(20 ng, 50 ng, 100 ng, 200 ng, 500 ng) 표준시료들을 분석하여 작성하였다. TVOC는 액상표준물질을 이용한 외부보정법으로 톨루엔 검량식에 대입하여 농도를 구하였으며, 그 외 개별 VOC는 각 해당되는 표준물질에 대한 감응계수를 이용하여 농도를 정량하였다. 이때 감응계수 및 검량식에 사용된 물질별 피크면적은 총이온크로마토그램(TIC)을 이용하였다.

표준시료 및 현장시료에 함유된 VOC 대상물질의 분석에는 열탈착장치(STD 1000, DANI, Italy)가 가스

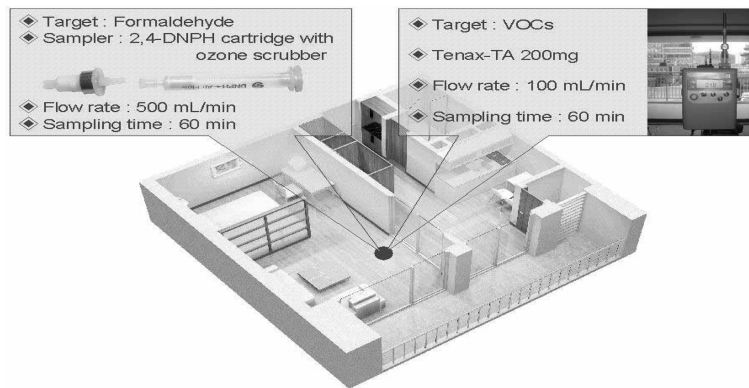


Fig. 2. Sampling method of indoor air pollutants at the new apartment.

Table 2. Analytical condition of Thermal Desorptor and GC/MS

Thermal Desorptor		GC/MS	
Parameter	Condition	Parameter	Condition
Purge temperature and time	40°C, 0.5 min	GC column	DB-1ms (60 m×0.32 mm×0.25 μm)
Desorption temperature	300°C	Initial temperature	40°C (10 min)
Desorption time and flow	15 min, 50 mL/min	Oven ramp rate 1	4°C/min (40~180°C)
Cold trap low temperature	-10°C	Oven ramp rate 2	20°C/min (180~250°C)
2nd desorption temperature	320°C	Final temperature	250°C (10 min)
Cold trap holding time	15 min	Column flow	1.5 mL/min
Cold trap packing	Tenax-TA	MS source temperature	200°C
In Split	No	Detector type	EI (Quadropole)
Valve temperature	200°C	Mass Range	35~350 amu
Transfer line temperature	200°C	Electron energy	70 eV

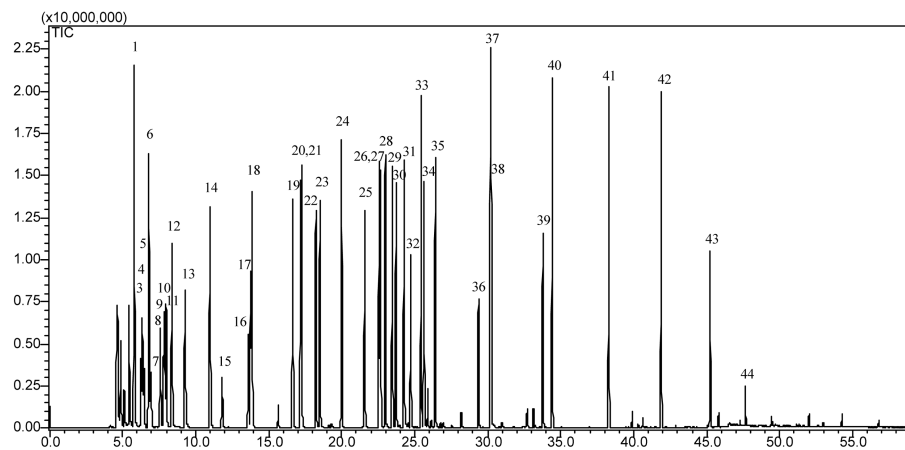


Fig. 3. Chromatogram of VOC standard solution.

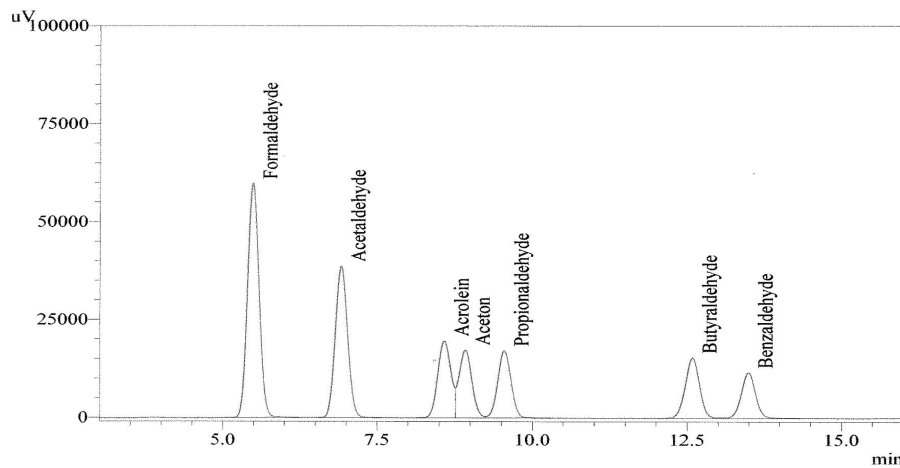


Fig. 4. Chromatogram of DNPH-aldehydes/ketones derivative.

크로마토그래프/질량분석기(Shimadzu, GC-2010, Japan)에 직접 연결된 시스템을 사용하였다. 흡착관에 채취

된 분석대상 VOC는 일차적으로 300°C에서 50 mL/min의 유량으로 15분간 열탈착되며, 탈착된 시료는

다시 -10°C의 저온응축트랩에서 농축된 후 320°C에서 이차 열탈착되어 GC의 분석칼럼으로 주입되었다. VOC시료 분석에 사용된 열탈착장치와 GC/MS의 운전조건은 Table 2에 나타내었다.

위와 같은 분석조건에서 분석된 표준시료에 대한 GC/MS의 크로마토그램은 Fig. 3에 나타내었다.

카보닐화합물 분석을 위해 CARB Carbonyl-DNPH Mix 1(Supelco, USA)을 희석하여 5개의 표준용액을 제조하여 검량선을 작성하였다. 시료 채취한 DNPH를 SPE(고체상추출) vacuum manifold(Supelco, USA)에 장착한 뒤 일정한 유속으로 5 mL의 아세트니트릴(HPLC grade)로 추출하였으며, 추출액은 갈색 바이알에 담은 후 테플론 테이프로 밀봉하여 냉장 보관하였다. 추출된 DNPH 유도체의 분석은 고성능액체크로마토그래피(LC-10Avp, Shimadzu, Japan)를 이용하였으며, HPLC의 분석조건은 Table 3에 나타내었다. DNPH 유도체는 350~380 nm에서 최대의 감도를 가지게 되므로 본 연구는 360 nm파장에 고정시켜 카보닐화합물을 분석하였다. 이때, 이동상(물, 아세트니트릴 혼합용액)은 분당 1 mL로 하였다.

Table 3. Analytical condition of HPLC

Parameter	Condition
Injector	Shimadzu SIL-10ADvp
Column	ACE 5 C-18 (250 mm×4.6 mm×5 μm)
Detector	UV-VIS Detector, Shimadzu
Mobile phase	Water(A)/Acetonitrile(B)
Gradient elution	0~20 min : A/B = 80/20→40/60 20~22 min : A/B = 40/60→80/20
Detection	Absorbance at 360 nm
Flow rate	1.0 mL/min
Injection volume	20 μl

위 조건에서 분석된 표준시료에 대한 HPLC 크로마토그램은 Fig. 4에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 주요 실내공기 오염물질

입주 전 신축공동주택에서 측정 분석된 50개 물질 중 검출빈도가 높거나, 인체 유해성이 높은 24개 물질의 농도를 산술평균값, 표준편차, 최대값, 중앙값, 최

Table 4. The concentrations of indoor air pollutants at new apartments before occupation

Compounds	Mean	S.D.	Max.	Median	Min.
Benzene	3.05	1.33	5.81	3.12	0.00
Methyl Isobutyl Ketone	7.83	5.62	23.39	6.66	0.00
Toluene	272.81	77.34	502.62	268.56	100.12
Butyl acetate	20.48	22.70	85.14	9.55	0.00
Ethylbenzene	49.76	45.48	237.01	31.77	4.63
<i>m,p</i> -Xylene	98.80	99.75	535.93	57.75	19.25
Styrene	10.86	8.47	37.48	8.58	0.00
<i>o</i> -Xylene	39.12	42.43	190.66	21.95	5.21
α -Pinene	16.36	15.09	58.81	10.74	0.00
β -Pinene	23.39	23.21	87.96	13.45	0.00
1,2,4-Trimethylbenzene	5.36	6.26	25.59	2.85	0.00
<i>n</i> -Decane	3.07	3.07	16.33	2.49	0.00
<i>d</i> -Limonene	0.38	0.87	2.98	0.00	0.00
Nonanal	5.30	2.86	13.61	4.62	0.00
<i>n</i> -Dodecane	3.73	2.86	13.45	2.95	0.00
<i>n</i> -Tridecane	3.40	2.39	11.75	3.10	0.00
<i>n</i> -Tetradecane	2.13	2.48	9.45	1.38	0.00
TVOC	1,477.72	923.79	4023.41	1,093.62	356.93
Formaldehyde	71.68	35.50	155.42	70.68	14.75
Acetaldehyde	13.61	6.17	28.74	13.68	1.57
Acetone	70.58	34.92	165.75	63.14	15.19
Propionaldehyde	1.81	1.95	7.27	1.19	0.00
Butyraldehyde	1.13	1.18	4.75	0.99	0.00
Benzaldehyde	7.63	5.79	24.52	5.84	0.25

Table 5. The concentrations of indoor air pollutants in new apartment by region

Compounds	Metropolitan(N=162)			Local(N=68)			P-value
	Mean	S.D	Range	Mean	S.D	Range	
Benzene	3.36	1.23	0.00~5.81	2.39	1.31	0.00~5.10	<0.05
Methyl Isobutyl Ketone	8.75	5.58	0.00~23.39	5.93	5.30	0.00~17.67	<0.05
Toluene	265.50	66.53	100.12~396.00	291.39	98.81	142.35~502.62	>0.05
Butyl acetate	27.09	23.15	0.00~85.14	6.66	14.00	0.00~74.15	<0.05
Ethylbenzene	48.95	50.45	4.63~237.01	51.26	35.16	9.41~147.10	>0.05
<i>m,p</i> -Xylene	101.44	108.86	20.63~535.93	93.75	80.93	19.25~316.07	>0.05
Styrene	12.42	8.48	0.00~37.48	7.64	7.60	0.00~26.06	<0.05
<i>o</i> -Xylene	36.39	44.00	5.21~190.66	44.18	39.50	10.20~181.58	>0.05
α -Pinene	18.33	15.59	0.00~58.81	12.12	13.20	0.00~44.88	>0.05
β -Pinene	25.79	24.50	0.00~87.96	18.09	19.36	0.00~84.61	>0.05
1,2,4-Trimethylbenzene	6.79	6.60	0.00~25.59	2.42	4.23	0.00~18.33	<0.05
Nonanal	5.17	2.85	0.00~13.61	5.63	2.91	0.00~11.46	>0.05
TVOC	1506.21	1016.13	356.93~4023.41	1413.63	681.56	424.42~2838.85	>0.05
Formaldehyde	73.41	37.58	14.75~155.42	67.90	30.58	18.04~140.98	>0.05
Acetaldehyde	13.00	5.90	2.93~28.74	15.02	6.62	1.57~24.56	>0.05
Acetone	72.82	31.03	17.40~165.75	65.65	42.38	15.19~156.69	>0.05
Propionaldehyde	1.35	1.40	0.00~5.72	2.86	2.56	0.00~7.27	<0.05
Butyraldehyde	1.51	1.18	0.00~4.75	0.26	0.55	0.00~2.20	<0.05
Benzaldehyde	9.68	5.80	0.25~24.52	2.95	1.29	0.99~5.54	<0.05

Table 6. The concentrations of indoor air pollutants in new apartments by floor

Compounds	Low floor		Middle floor		High floor		P-value
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	
Benzene	3.07	1.35	3.08	1.20	3.01	1.45	>0.05
Methyl Isobutyl Ketone	7.44	5.00	7.89	5.57	8.17	6.37	>0.05
Toluene	277.04	84.40	269.13	65.42	272.37	83.86	>0.05
Butyl acetate	20.99	24.56	21.00	22.75	19.40	21.14	>0.05
Ethylbenzene	51.57	52.01	54.30	47.68	42.70	34.42	>0.05
<i>m,p</i> -Xylene	94.99	93.86	106.70	101.37	94.30	106.59	>0.05
Styrene	9.37	7.19	12.03	9.88	11.12	8.13	>0.05
<i>o</i> -Xylene	40.96	46.16	45.51	48.88	29.84	27.36	>0.05
α -Pinene	15.53	14.42	17.00	16.16	16.61	15.10	>0.05
β -Pinene	20.00	20.01	23.42	24.16	26.86	25.36	>0.05
1,2,4-Trimethylbenzene	5.09	6.16	5.42	6.02	5.60	6.77	>0.05
Nonanal	4.58	2.82	5.49	2.49	5.83	3.19	>0.05
TVOC	1368.83	832.60	1500.06	877.68	1557.42	1058.89	>0.05
Formaldehyde	69.23	33.75	71.57	37.76	74.25	35.60	>0.05
Acetaldehyde	13.51	5.64	12.96	6.30	14.32	6.59	>0.05
Acetone	67.68	37.54	66.18	32.62	77.97	34.12	>0.05
Propionaldehyde	1.98	2.05	1.73	2.01	1.72	1.83	>0.05
Butyraldehyde	1.14	1.16	1.04	1.09	1.21	1.30	>0.05
Benzaldehyde	7.30	5.33	7.90	6.52	7.70	5.56	>0.05

소값으로 구분하여 Table 4에 정리하였다. 오염물질 대부분의 산술평균값이 중앙값보다 더 높게 나타나 실내공기 오염물질의 농도분포는 비정규분포를 하고

있음을 알 수 있었다. TVOC의 평균농도는 약 1,477 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 톨루엔 272.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, *m, p*-자일렌 98.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 포름알데히드 71.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 아세톤 70.58

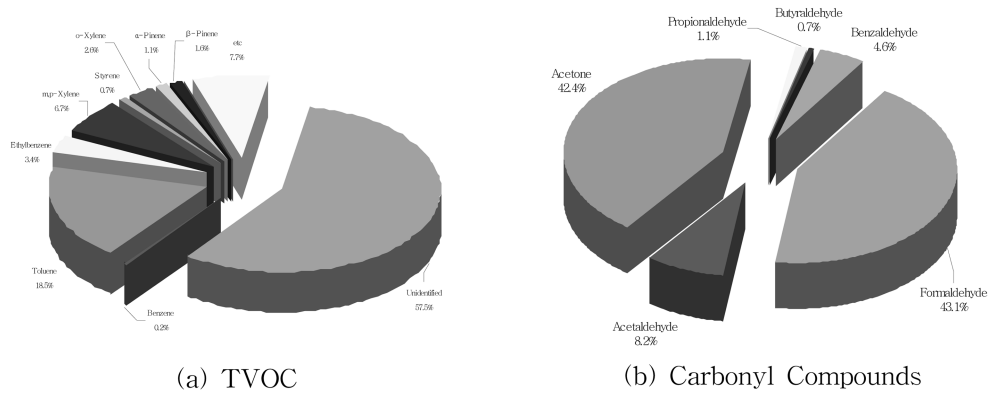


Fig. 5. The component ratio of TVOC and Carbonyl compounds at new apartments before occupation.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $49.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 순으로 높은 농도를 나타내, 입주전 신축공동주택에서는 톨루엔이 주 오염물질임을 알 수 있었다. 자연 VOC인 β -피넨, α -피넨의 농도도 각각 $23.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $16.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 비교적 높게 나타났으며 *d*-리모넨은 $0.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내 가장 낮은 순위를 나타내었다. 카보닐화합물인 프로피온알데히드와 부틸알데히드는 각각 $1.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내어 낮은 농도수준을 보였다.

3.2 실내공기 오염물질의 지역 및 층별 농도비교

지역별 실내공기오염물질의 농도를 비교하기 위해 대상 신축공동주택을 수도권과 지방권으로 구분하여 검토한 결과를 Table 5에 나타내었다. 새집증후군에 영향을 주는 주요물질인 톨루엔, 에틸벤젠, *m, p*-자일렌, TVOC, 포름알데히드 등 대부분의 오염물질은 지역에 따라 유의한 차이가 나타나지 않았으나($p>0.05$), 일부 오염물질은 유의적인 차이를 나타내기도 하였다($p<0.05$).

층별에 따른 오염물질 농도를 비교하기 위해 저층 고층부로 구분하여 검토한 결과는 Table 6에 나타내었

다. TVOC의 경우 저층 $1368.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 중층 $1500.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 고층 $1557.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었으며, 포름알데히드의 경우 저층 $71.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 중층 $74.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 고층 $82.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 저층에서 고층으로 갈수록 농도가 약간 높아졌으나, 유의적인 차이는 나타나지 않았다($p>0.05$). 또한 톨루엔 등 모든 대상오염물질도 층별에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다.

3.3 실내공기 오염물질의 구성

입주 전 신축 공동주택 실내공기 중 TVOC와 카보닐화합물의 구성비를 Fig. 5에 나타내었다. TVOC의 경우, 표준물질로 확인 분석된 물질 42.5%, 표준물질로 확인되지 않은 물질이 57.5%로, 확인되지 않은 물질이 확인된 물질보다 15% 이상 많은 구성비를 차지하였다. 확인된 휘발성유기화합물 중에서는 톨루엔이 18.5%, *m, p*-자일렌 6.7%, 에틸벤젠 3.4%, *o*-자일렌 2.6%의 순으로 높은 비중을 차지하였다. 카보닐화합물의 경우, 포름알데히드가 43.1%, 아세톤이 42.4%로 대부분을 차지하고 있었다. 프로피온알데히드와 부틸알데히드는 1.1%와 0.7%로 상대적으로 비율이 낮았다.

Table 7. The I/O ratio of indoor air pollutant at new apartments before occupation

Compounds	I/O ratio							
	Site A	Site C	Site D	Site E	Site F	Site I	Site J	Average
Benzene	0.69	-	0.88	2.04	-	-	1.57	1.29
Toluene	-	3.80	-	-	3.81	3.16	-	3.59
Ethylbenzene	4.66	9.40	2.75	23.53	13.33	-	82.33	22.67
<i>m, p</i> -Xylene	-	7.71	-	20.42	27.09	-	26.88	20.52
<i>o</i> -Xylene	4.75	11.53	5.63	34.30	18.00	-	98.24	28.74
Formaldehyde	11.27	22.60	8.86	11.81	6.73	12.42	1.60	10.76
Acetaldehyde	1.80	3.40	3.26	-	7.05	-	1.03	3.31
Acetone	10.45	1.80	9.16	7.66	-	3.10	1.54	5.62

3.4 실내공기오염물질의 실내/실외 농도비

벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *m*, *p*-자일렌, *o*-자일렌, 포름알데히드, 아세트알데히드, 아세톤 등 주요 실내오염물질의 실내/실외 농도비를 Table 7에 나타내었다. 실내/실외 농도비는 지역에 따라 차이를 보이며 평균적으로 1.29~28.74의 범위를 가졌다. 벤젠은 1.29로 가장 낮은 실내/실외 농도비를 보였으며, 톨루엔은 3.59, 포름알데히드는 10.75 이며, *o*-자일렌은 28.74로 가장 높은 실내/실외 농도비를 나타내었다. 실내/실외 농도비가 높은 물질일수록 실외에 비해 실내에서 많이 발생하는 물질임을 알 수 있었다.

4. 결 론

실내 공기질에 영향을 미치는 오염물질의 종류와 오염특성을 파악하고자 입주 전 신축 공동주택 120세대를 대상으로 실내공기 오염도 실태조사를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 입주 전 신축 공동주택의 실내공기 오염물질은 톨루엔이 272.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 농도로 조사되었으며, *m*, *p*-자일렌, 포름알데히드, 아세톤, 에틸벤젠이 각각 98.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 71.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 70.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 49.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 높은 농도로 조사되었다.

둘째, 신축공동주택을 수도권과 지방권으로 나누어 비교분석한 결과 톨루엔, 에틸벤젠, *m*, *p*-자일렌, 포름알데히드 등 주요 실내공기 오염물질들은 지역에 따라 유의한 차이가 나타나지 않았으며($p>0.05$), 신축공동주택을 저층부, 중층부, 고층부로 나누어 비교분석한 결과도 유의한 차이가 나타나지 않았다($p>0.05$).

셋째, 신축공동주택에서 발생하는 TVOCs의 경우, 표준물질로 확인 분석된 물질이 42.5%로 구성되었으며, 그 중 톨루엔이 18.5%로 가장 많은 비중을 차지하였다. 카보닐화합물의 경우, 포름알데히드와 아세톤이 각각 43.1%, 42.4%로 대부분을 차지하였다.

넷째, 실내공기 오염물질의 실내/실외 농도비는 벤젠이 1.29로 나타났으며, 톨루엔이 3.59, 포름알데히드 10.76 이며, *o*-자일렌이 28.74로 가장 높은 실내/실외 농도비를 나타내었다.

본 연구의 결과는 국내 신축 공동주택 실내공기질

관리방안을 수립하는데 필요한 기초 자료로 활용 될 것으로 기대되며, 향후 신축 공동주택에 대한 오염도 변화추이 파악을 위한 시계열조사 등 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. 장성기, 이석조, 유승화, 정경미, 류정민, 한국실내환경학회지 **1**(1), 12-24 (2004).
2. Jones A.P, *Atmospheric Environment*, **33**, 4535-4564 (1999).
3. 조장계, 구민호, 장정욱, 손승연, 김태오, 한국대기환경학회 2004 춘계학술대회 논문집 (2004).
4. Lee, S. C. and M. Chang, *Chemosphere*, **41**, 109-113 (2000).
5. 전형진 등, 한국실내환경학회 2005 연차학술대회 논문집, 138-142(2005).
6. WHO's Regional Office for Europe Reprots, Working Group on Indoor Air Reseach, 264-268(1984).
7. 환경부, 다중이용시설 등의 실내공기질관리법 (2005).
8. 환경부, 실내공기질 공정시험방법 (2004).
9. 신동천, 이효민, 김종만, 정용, 한국대기보전학회지, **6**(1), 33-43(1990).
10. 김윤신, 조별아, 한국대기보전학회 1996 춘계학술대회요지집, 189-190(1996).
11. 송희봉, 민경섭, 한개희, 김종우, 백성욱, 대한환경공학회 1995 추계학술연구발표회, 340-343(1995).
12. 신혜수, 김윤신, 허귀석, 한국대기보전학회지, **9**(4), 310-319(1993).
13. S.O. Back, Y.S. Kim, and R. Perry, *Atmos. Environ*, **31**, 529-544(1997).
14. 송희봉, 다수인 이용시설에서의 실내공기질 특성 평가, 영남대학교 박사학위 논문(1999).
15. S.O Baek, and R.A. Jenkins, *Indoor Built Environ*, **10**, 200-208(2001).
16. 국립환경과학원, 신축공동주택 실내공기질 권고기준 설정 연구(II) (2005).
17. 임미정, 한국대기환경학회 2005 추계학술대회 논문집, 545-547(2005).