



기존 주택의 하절기 실내 공기중 HCHO, TVOC, CO₂ 농도 실태 조사분석

An Analysis on HCHO, TVOC, CO₂ Concentration of Existing-Housing Indoor-Air in Summer

남기철* · 이영한**

Nam, Ki-Cheul* · Lee, Young-Han**

* The Graduate School of Industry and Engineering, Seoul National University of Science and Technology, South Korea (nava1103@hanmail.net)

** Corresponding author, Professor, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, South Korea (yhlee@snut.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: The study is to measure indoor air pollutants concentration of existing housing and to analyze the causes and assess in accordance with the government's criteria. The research result could be used as data for public health through indoor air quality management of existing housing and more as a reference for new housing. **Method:** It was investigated 24 middle class housings of metropolitan area in summer which have been built for the past 30 years. Concentration of HCHO, TVOC was investigated in living room at morning and night and concentration of CO₂ was investigated in living room and master bedroom at morning and night. SKT100-X5 was used for concentration of HCHO, TVOC and ZGm053UK for concentration of CO₂. **Result:** Average concentration of TVOC was 1.31 times more than that of HCHO and standard deviation of that was 1.73 times higher. Average concentration of CO₂ was almost nearly close to 1,000ppm being criteria of the Ministry of Environment

KEYWORD

건강친화형 주택, 실내공기질, 포름알데히드, 총휘발성유기화합물, 이산화탄소

Healthy Housing, Indoor-Air Quality, HCHO, TVOC, CO₂

ACCEPTANCE INFO

Received Oct 25, 2016

Final revision received Nov 4, 2016

Accepted Nov 9, 2016

© 2016 KIEAE Journal

1. 서론

실내공기질과 관련되어 나타나는 질병들은 매우 광범위하여, 권태, 피로 등 "sick-building syndrome"으로부터 천식, 피부염, 알러지 등의 질병과 그리고 암 등 치명적인 질병들까지 실내공기질이 그 원인이 될 수 있음이 과학자들에 의해 밝혀지고 있다.¹⁾ 실내공기질에 관한 제도는 환경부와 국토교통부 중심으로 관리되고 있다. 환경부는 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법'(법률 12216호, 시행 2014.1.7.)에 의하여 관리하고 있으며, 국토교통부는 고시(제 2015-998호)에 의하여 '건강친화형 주택 건설기준'을 2016년 1월부터 시행하고 있다. 국토부는 새집증후군 문제를 해결하고자 건축자재의 유해물질 오염도 허용치와 적정환기를 중심으로 관리하고 있다.

본 연구는 기존 주택의 하절기 실내 공기 중 오염물질의 농도를 실태 조사분석하고 정부의 주택 실내 공기질관리 기준에 따라 평가하는 것을 목적으로 한다. 수도권에 과거 30여 년 동안 건립된 주택을 대상으로 실내 주요오염물질인 포름알데히드(HCHO, Hydrogen Carbon Hydrogen Oxygen), 총휘발성유기화합물(TVOC, Total Volatile Organic Compounds) 그리고 이산화탄소(CO₂) 농도를 실태 조사하고 분석하였다. 총 24개 주택을 대

상으로 거실의 HCHO와TVOC 농도는 SKT100-X5를 사용하여 아침과 저녁에 측정되었으며, 안방과 거실의 CO₂ 농도를 ZGm053UK를 사용하여 아침과 저녁에 측정되었다. 이들 농도 측정값의 특성을 밝히고 서로 비교 분석하였으며, 그 발생 원인을 분석하였다. 기존 아파트의 실내공기 오염도에 대한 선행연구는 없는 것으로 파악되었다. 이 연구 결과는 기존 주택의 실내 공기질 관리를 통한 국민 건강 보호를 위한 자료로서 활용될 수 있으며, 신축 주택의 실내 공기질 관리에도 참고자료가 될 수 있을 것으로 생각된다.

2. 실내 공기질 평가기준 고찰

2.1. 실내공기 오염물질과 오염물질 발생원

<표 1.>은 실내오염물질이 건강에 미치는 영향을 정리한 것이다. 실내 공기 오염물질은 유기성 오염물질(organic pollutants), 무기성 오염물질(inorganic pollutants), 생물성 오염물질(biocontaminants)로 구분할 수 있다. 유기성 오염물질에는 TVOC, HCHO, 담배연기, 살충제 등, 무기성 오염물질에는 CO₂, CO, NO₂, SO₂, 라돈, 먼지, 석면섬유, MMF 등, 생물성 오염물질에는 바이러스, 박테리아, 곰팡이, 진드기, 각질, 곤충, 기타 동식물 등이 있다. 본 연구에서는 여러 오염물질 중에서 건강 위해성이 상대적으로 낮은 생물성 오염물질은 제외하고 유기성 오염물질인 TVOC, HCHO와 무기성 오염물질을 대표하는 CO₂

Table 1. Indoor-air pollutant and health effect

pollutant		health effect
inorganic pollutants	CO ₂	dyspnoea, death
	co	organization asphyxia
	no2	bronchitis, asthma
	radon	lung cancer
	dust	pneumoconiosis
	fiber	lung cancer
organic pollutants	TVOC	hematosis nerve skin disability, carcinogenic potency
	HCHO	vomit, diarrhea, dyspnoea
	tabacco	lung cancer
biocontaminants	virus	allergic diseases, respiratory disease, flu, atopic dermatitis
	mold	
	tick	

의 오염 농도를 대상으로 한다.

<표 2.>는 건물에서 오염물질의 발생원인을 정리한 것이다. 실내공기 오염물질 발생원은 건물 구성재와 마감재료, 빌딩 시스템, 가전제품, 거주자 활동, 외부 환경에 기인한다. HCHO는 자극성냄새를 갖는 가연성 무색기체로 살균방부제로 이용된다. 실내에서는 건축 자재, 우레아수지폼 단열재, 접착제, 생활용품, 화학습유, 가스 연소, 담배연기에서 주로 발생한다. TVOC는 비등점 50℃~260℃ 유기화합물의 총칭으로 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, 스티렌 등으로 구성되어 있다. TVOC의 발생원은 건축 자재, 마감재 및 접착제, 청소용품, 세척제, 복사기 토너, 실내 연소 등이다. CO₂는 화석 연료 연소와 호흡 시 발생하며 실내에서 CO₂농도가 증가하면 산소 양이 부족하게 된다. CO₂는 실내 환경의 환기 정도를 가늠하는 중요한 관리 요소이다.

Table 2. Pollutant sources in building

division	pollutant source	
building component, finish	building material, furniture	material, dust, paint, adhesive, microorganism, asbestos
	carpet, curtain	dust, fiber
building system	air conditioning	dust, microorganism, insecticide
appliances	home appliances	copy machine, TV, computer
man life	resident life	breathing, smoking, cosmetics, deodorant, cooking
outdoor environment	contaminated air	dust, pollen, chemicals
	soil pollution	radon, insecticide

2.2. 실내공기 오염물질 관리 관련 법규 검토

실내 공기질 관리의 주무부처는 환경부이다. 환경부는 '다중이용시설 등의 실내공기관리법'을 중심으로 실내 공기질 관리를 한다. 이 법은 다중이용시설, 신축되는 공동주택 및 대중교통차량의 실내 공기질의 적정 관리를 목적으로 하며, 기존 주택에 적용되

는 것은 아니다. 제 9조에 의하면, 공동주택 시공자는 준공 전에 실내공기질을 측정하여 지자체장에게 제출하고 입주 전에 입주민들에게 공개해야 한다고 되어 있다. 제 11조(오염물질 방출 건축자재의 사용 제한)에서는 다중이용시설 또는 공동주택을 설치하는 자는 환경부령 기준을 초과하는 오염물질을 방출하는 접착제, 페인트, 실란트, 퍼티, 벽지, 바닥재 사용을 불허하고 있다. 여기서 기존 주택의 개수 및 보수를 포함한다. 제 11조의 2에서는 실내 라돈조사를 실시할 수 있도록 하고 있다.

'실내공기질관리법 시행규칙' 별표 1(개정 2011.12.19.)에 실내공간오염물질은 미세먼지(PM-10), CO₂, HCHO, 총부유세균(TAB), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 라돈(Rn), TVOC, 석면(Asbestos), 오존(O₃)으로 규정하고 있다. 동 규칙 '별표 2(개정 2014.3.20.)' '실내공기질 유지기준'에 의하면 다중이용시설은 미세먼지, CO₂, HCHO, 총부유세균, 일산화탄소의 기준을 규정하고 있으며, CO₂는 1,000ppm이하, HCHO는 100µg/m³ 이하로 규정하고 있다. 동 규칙 '별표 3(개정 2014.3.20.)' 실내공기질 권고기준에 의하면 다중이용시설의 이산화질소, 라돈, TVOC, 석면, 오존을 규정하고 있으며, TVOC은 500µg/m³으로 규정하고 있다.

동 규칙 '별표 4의2(개정 2008.10.10.)' '신축 공동주택의 실내 공기질 권고기준'은 HCHO는 210µg/m³이하, 벤젠은 30µg/m³이하, 톨루엔 1,000µg/m³이하, 에틸벤젠 360µg/m³이하, 자일렌 700µg/m³이하, 스티렌 300µg/m³이하로 규정하고 있다. CO₂농도에 대한 기준은 없으며 휘발성 유기화합물도 화합물별로 별도로 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서 HCHO 농도는 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준인 210µg/m³(= 0.1568ppm²)이하를 따르기로 하고, CO₂ 농도는 다중이용시설의 유지기준인 1,000ppm이하, TVOC 농도는 다중이용시설의 권고 기준인 500 µg/m³이하를 준용하는 것으로 한다.

국토교통부는 공동주택의 실내 공기질을 '건강친화형 주택 건설기준'을 중심으로 관리하고 있다. 건강친화형 주택은 오염물질을 적게 방출되는 건축자재를 사용하고 환기 등을 실시하여 새집증후군 문제를 개선함을 목적으로 한다. 이 기준은 친환경 건축자재, 접착제, 친환경 생활제품 그리고 환기에 대한 기준을 중심으로 구성되어 있다. 동 기준 '별표 1' '실내 공기 오염물질 저방출 건축자재의 적용 기준'은 TVOC, HCHO를 평가대상 물질로 한다. 평가 기준은 TVOC 방출량은 0.10mg/m³·h이하, HCHO 방출량은 0.015mg/m³·h이하로 규정하고 있다. 동 기준 '별표 5' 친환경 생활제품 적용기준은 친환경 빌트인 가전제품인 냉장고, 전자레인지, 세탁기, 식기세척기, 오븐 등을 평가 대상으로 하고, TVOC 방출량은 4.0mg/m³, HCHO는 0.03mg/m³ 이하로 규정하고 있다. 불박이 가구 등의 성능 평가는 주방가구, 불박이장, 수납가구 등을 대상으로 하며 평가기준은 TVOC 방출량은 0.25mg/m³이하, HCHO는 0.03mg/m³ 이하로 규정하고 있다. 본 연구에서는 TVOC, HCHO, CO₂ 농도와 발생원인인 건축자재, 가전제품, 불박이 가구, 그리고 환기 등과의 관련성도 분석한다.

2) 210 ug/m³ × 22.4/30 ÷ 1000 = 0.1568ppm

3. 실내공기 주요 오염물질 실태조사 분석

3.1. 분석 대상 주택 선정

Table 3. Outline of investigated housings

num.	year of completion	year of completion	floor area (m ²)	location	name
H1	1988	6	99	Chungju Gaeshindong	HDapt
H2	1989	5	92	Incheon Mansoodong	SWapt
H3	1991	4	79	Incheon Guyoldong	multiplex house
H4	1991	4	112	Incheon Whankoodong	SGapt
H5	1994	2	92	Incheon Younsoodong	SIapt
H6	1994	4	99	Incheon Dongchoondong	GYapt
H7	1995	2	79	Incheon Juandong	JHapt
H8	1998	2	79	Incheon Gyesandong	SHapt
H9	1998	4	112	Incheon Juandong	single house
H10	1998	4	59	Incheon Bupyungdong	multiplex house
H11	2001	3	112	Kimpo Changgidong	CSapt
H12	2003	2	79	Incheon Songlimdong	SBapt
H13	2005	3	79	Incheon Gyesandong	SDapt
H14	2005	4	59	Incheon Sipjungdong	multiplex house
H15	2007	4	92	Incheon Guyoldong	HSapt
H16	2007	4	99	Incheon Guyoldong	LCapt
H17	2007	4	112	Incheon Guyoldong	LCapt
H18	2009	4	112	Kimpo Hasungmeon	single house
H19	2010	6	79	Incheon Songlimdong	single house
H20	2013	1	66	Incheon Dowhadong	multiplex house
H21	2013	4	112	Kimpo Hankangro	KNapt
H22	2014	5	79	Incheon Cheongcheondong	HWapt
H23	2014	4	99	Incheon Namcheondong	single house
H24	2015	4	99	Incheon Dowhadong	apt

조사 대상 주택은 인천지역의 일반 서민들의 주택을 중심으로 하여 선정하였다. 준공년도는 최근 30년 동안 준공된 주택을 범위로 하였다. 준공년도에 따른 중간값은 2002년으로 2016년 현재를 기준으로 약 15년 정도가 경과한 주택이다. 1980년대 2개 주택, 1990년대 8개 주택, 2000년대 8개 주택, 2010년대 6개 주택으로 시간별로 골고루 분포하도록 하였다. 조사 주택의 유형은 공동주택 15개 단지에서 주택 16개, 다세대 4단지에서 각각 주택 4개, 그리고 서로 떨어져 있는 단독주택지에서 각각 주택 4개로 총 24개를 선정하여 유형별로 균형있게 구성하였다. 저소득층이나 고소득층의 주택이 아닌 일반 시민 주택이라 할 수 있는 국민

주택 규모인 전용 바닥 면적 85m² 이하 주택을 중심으로 선정하였다. 호당 총 바닥면적은 평균 86.3m²(26.1평)이다. 바닥면적인 112m² 주택 6개, 99m² 주택 5개, 92m² 주택 3개, 79.2m² 주택 7개, 66m² 주택 1개, 59.4m² 주택 2개이다. 가족 수는 평균 3.54인이다. 6인 가구 1세대, 5인 가구 2세대, 4인 가구 13세대, 3인 가구 2세대, 2인 가구 5세대, 1인 가구 1세대이다.

조사대상 각 주택의 특성을 평균하여 보면 인천에 입지한 공동주택으로 2002년에 준공되어 14년이 경과하였다. 바닥면적은 86.3m²(26.1평)이며, 가족 수는 3.5인으로 1인당 바닥면적은 24.3m²(7.3평)이다.

3.2. 실내 오염물질 측정 조사 과정

Table 4. Time of field investigation

num of housing	time of investigation(2016.)
H1	9.6. 20:00 - 9.7. 8:00
H2	6.18. 21:00 - 6.19. 8:00
H3	7.19. 21:00 - 7.20. 7:00
H4	6.13. 20:00 - 6.14. 7:00
H5	7.12. 21:00 - 7.13. 8:00
H6	6.15. 21:00 - 6.16. 7:00
H7	5.9. 21:00 - 5.10. 8:00
H8	7.21. 21:00 - 7.22. 8:00
H9	5.4. 17:00 - 5.5. 7:00
H10	6.4. 21:00 - 6.5. 6:00
H11	6.14. 21:00 - 6.15. 8:00
H12	6.17. 20:00 - 6.18. 8:00
H13	9.29. 20:00 - 9.30. 8:00
H14	7.17. 21:00 - 7.18. 6:00
H15	7.21. 21:00 - 7.22. 8:00
H16	9.26. 20:00 - 9.27. 8:00
H17	6.12. 21:00 - 6.13. 7:00
H18	6.15. 22:00 - 6.16. 8:00
H19	7.12. 21:00 - 7.13. 7:00
H20	6.2. 20:00 - 6.3. 7:00
H21	6.14. 21:00 - 6.15. 6:00
H22	6.17. 20:00 - 6.18. 9:00
H23	5.19. 22:00 - 5.20. 7:00
H24	6.8. 20:00 - 6.9. 8:00

실태조사 기간은 2016년도 5월~9월에 걸쳐 진행하였으며, 6월과 7월에 집중적으로 이루어졌다. 5월 4일~20일, 6월 2일~19일, 7월 12일~22일, 9월 6일~30일 기간에 총 32일 동안 수행되었다. 측정기기는 실 중앙바닥에 밤 20시, 21시에 시작하여 다음날 아침 7~9시까지 설치하였으며, 아침과 저녁에 10~30분 측정하여 최소치와 최고치를 계측하였다. 가전제품 주변의 HCHO, TVOC 농도를 측정하여 가전제품이 실내 공기에 미치는 영향을 분석해보고자 하였다. 가전제품 앞 1m 이내에 측정기기를 놓고 가전제품 주변의 실내 오염도를 측정하였다. HCHO와 TVOC 농도는 거실에서 저녁시간에 이용하여 측정하였다. CO₂농도는 거실과 안방을 각각 저녁과 아침에 측정하였다. 거실에서 CO₂측정은 아침에는 부엌에서 취사 조리를 하고 있는 시간에 측정하였다. 안방에서 CO₂측정은 아침에는 자고 일어났을 때와 저녁 퇴근 후 취침 전 시간에 측정하였다.

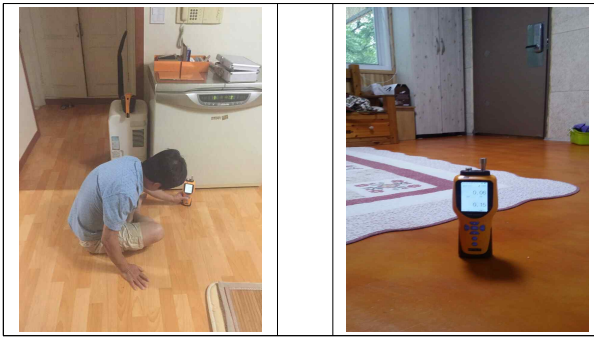


Fig. 1. Measurement of pollutants

본 연구에서 사용한 측정 장비는 HCHO, TVOC 측정용으로 SKT100-X5를 사용하였으며, CO₂ 측정용으로 ZGm053UK를 사용하였다.



a) SKT100-X5

b) ZGm053UK

Fig. 2. Measuring devices

3.3. HCHO와 TVOC 농도 실태 조사 분석

24개 주택의 거실에서 측정된 HCHO 농도는 평균은 0.048ppm이며 최대 0.090ppm에서 최소 0.010ppm 사이에 분포한다. 환경부 HCHO 농도 기준인 0.156ppm을 초과한 주택은 없었다. 가전제품 주변 실내공기의 HCHO 농도 경우, 평균 치수는 0.051ppm이며, 최대 0.123ppm 최소 0.010ppm 사이에 분포한다. HCHO 농도는 가전제품 주변 평균이 거실 평균이 1.06배 높게 분석되었다.

24개 주택의 거실에서 측정된 TVOC 농도는 평균 0.063ppm이며, 최대 0.16ppm 최소 0.016ppm 사이에 분포한다. 가전제품 주변 TVOC 농도는 평균 0.073ppm이었으며, H16이 0.190ppm으로 가장 높은 것으로 분석되었다. TVOC 농도는 가전제품 주변 평균이 거실 평균보다 1.15배 높게 분석되었다.

거실의 TVOC 농도 평균은 HCHO 농도 평균보다 1.31배 높게 분석되었으며, 가전제품 주변의 TVOC 농도 평균은 HCHO 농도 평균보다 1.43배 높게 분석되었다. 거실 HCHO 농도의 표준편차는 0.023, 거실 가전제품 주변의 HCHO 농도 표준편차는 0.031, 거실 TVOC 농도의 표준편차는 0.040, 거실 가전제품 주변의 TVOC 농도 표준편차는 0.052로 분석되었다. 거실의 TVOC 농도 표준편차는 HCHO 농도 표준편차보다 1.73배 높게 나타나고 있어 주택에 따른 TVOC 농도가 HCHO 농도보다 편차가 큰 것으로 분석된다. 가전제품 주변의 실내공기질도 마찬가지이다.

Table 5. Concentration of HCHO and TVOC

번호	HCHO(ppm)		TVOC(ppm)	
	living room	near appliances	living room	near appliances
H1	0.070	0.080	0.160	0.073
H2	0.050	0.030	0.080	0.050
H3	0.010	0.010	0.020	0.040
H4	0.038	0.018	0.035	0.018
H5	0.060	0.050	0.090	0.060
H6	0.040	0.060	0.040	0.060
H7	0.061	0.048	0.046	0.028
H8	0.015	0.017	0.030	0.033
H9	0.052	0.060	0.100	0.080
H10	0.068	0.043	0.048	0.028
H11	0.012	0.013	0.016	0.012
H12	0.080	0.100	0.150	0.200
H13	0.070	0.090	0.120	0.180
H14	0.040	0.030	0.090	0.080
H15	0.032	0.048	0.047	0.052
H16	0.080	0.090	0.090	0.190
H17	0.090	0.060	0.018	0.080
H18	0.048	0.012	0.034	0.072
H19	0.039	0.019	0.027	0.074
H20	0.026	0.060	0.060	0.060
H21	0.036	0.074	0.026	0.061
H22	0.083	0.123	0.098	0.133
H23	0.021	0.030	0.044	0.020
H24	0.050	0.080	0.060	0.080
average	0.048	0.051	0.063	0.073

3.4. CO₂ 농도 실태 조사 분석

CO₂ 농도는 거실과 안방을 아침과 저녁으로 구분하여 측정하였다. 거실에서 아침에 측정된 CO₂ 농도는 평균 816ppm이었으며 최대 1,311ppm 최소 466ppm 사이에 분포하였다. 거실에서 저녁에 측정된 CO₂ 농도는 평균 748ppm이었으며 최대 1,343ppm 최소 465ppm 사이에 분포하였다. 거실에서 아침과 저녁에 측정된 CO₂ 농도 평균은 각각 환경부 CO₂ 농도 기준 1,000ppm의 74.8%, 81.6%이며, 거실에서 아침에 CO₂ 농도가 저녁의 농도에 비하여 1.09배 높은 것으로 분석된다. 환경부 CO₂ 농도 기준 1,000ppm을 초과하는 주택은 아침에는 5개 주택(H1, H6, H10, H15, H21)으로 전체 24개 주택 중 약 20.8%에 해당하며 저녁에는 3개 주택(H4, H9, H10)으로 전체 24개 주택의 16.6%에 해당한다.

안방에서 아침에 측정된 CO₂ 농도는 평균 1,092ppm이었으며 최대 2,700ppm 최소 462ppm 사이에 분포하였다. 안방에서 저녁에 측정된 CO₂ 농도는 평균 835ppm이었으며 최대 2,013ppm 최소 493ppm 사이에 분포하였다. 안방에서 아침과 저녁에 측정된 CO₂ 농도 평균은 각각 환경부 CO₂ 농도 기준 1,000ppm의 109.2%, 83.5%이며, 안방에서 아침에 CO₂ 농도가 저녁의 농도에 비하여 1.30배 높은 것으로 분석된다. 환경부 CO₂ 농도 기준 1,000ppm을 초과하는 주택은 안방에서 아침에 측정된 CO₂ 농도는 평균 1,092ppm이었으며 최대 2,700ppm 최소 462ppm 사이에 분포하였다. 안방에서 저녁에 측정된 CO₂ 농도는 평균 835ppm이었으며 최대 2,013ppm 최소 493ppm 사이에 분포하였다. 안방에서 아침과 저녁에 측정된 CO₂ 농도 평균은 각각 환경부 CO₂ 농도 기준

Table 6. Concentration of CO₂(unit. ppm)

num	living room		master bedroom		average	average			
	morning	night	morning	night		living	master bedroom	morning	night
H1	1,140	633	2,700	784	1,314	887	1,742	1,920	708
H2	566	665	752	633	654	615	693	659	649
H3	914	550	914	556	734	732	735	914	553
H4	783	1,190	781	1,019	943	986	900	782	1,104
H5	712	665	665	633	669	689	649	688	649
H6	1,085	837	1,143	928	998	961	1,036	1,114	882
H7	622	722	1,010	1,375	932	672	1,193	816	1,048
H8	952	628	942	685	801	790	814	947	656
H9	784	1,195	874	787	910	990	831	829	991
H10	1,311	1,343	2,218	2,013	1,721	1,327	2,116	1,764	1,678
H11	785	681	720	745	733	733	733	752	713
H12	527	502	571	514	528	514	543	549	508
H13	959	941	982	849	933	950	916	970	895
H14	914	550	914	556	733	732	735	914	553
H15	1,050	742	1,575	1,375	1,186	896	1,475	1,312	1,058
H16	781	636	882	726	756	708	804	831	681
H17	800	867	1,920	1,123	1,178	834	1,522	1,360	995
H18	466	465	605	570	526	465	588	535	517
H19	879	698	1,982	705	1,066	789	1,344	1,430	701
H20	627	889	617	767	725	758	692	622	828
H21	1,080	867	1,035	955	984	974	995	1,057	911
H22	516	507	462	493	494	511	478	489	500
H23	785	692	1,145	551	793	739	848	965	621
H24	552	502	806	706	641	527	756	679	604
평균	816	748	1,092	835	873	782	964	954	791

1,000ppm의 109.2%, 83.5%이며, 안방에서 아침에 CO₂농도가 저녁의 농도에 비하여 1.30배 높은 것으로 분석된다. 환경부 CO₂농도 기준 1,000ppm을 초과하는 주택은 아침에는 9개 주택(H1, H6, H7, H10, H15, H17, H19, H21, H23)으로 전체 24개 주택 중 약 37.5%에 해당하며 저녁에는 5개 주택(H4, H7, H10, H15, H17)으로 전체 24개 주택의 20.8%에 해당한다.

거실에서 아침과 저녁에 측정된 CO₂농도 평균은 782ppm이며 1,000ppm을 초과한 주택은 1개(H10)이다. 안방에서 아침과 저녁에 측정된 CO₂농도 평균은 964ppm이며, CO₂농도 1,000ppm을 초과한 주택은 7개(H1, H6, H7, H10, H15, H17, H19)이다. 조사 대상 24개 주택들의 거실 CO₂농도 평균은 환경부 1,000ppm 기준의 78.2%이며, 안방은 환경부 1,000ppm 기준의 96.4%로 안방은 거실에 비하여 1.23배 CO₂농도가 높은 것으로 조사되었다. 또한 조사 주택 안방의 29.1%가 1,000ppm을 초과하고 있다.

아침에 거실과 안방의 평균 CO₂농도는 954ppm이며 7개 주택(H1, H6, H10, H15, H17, H19, H21)이 환경부 CO₂기준인 1,000ppm을 초과하였으며, 저녁에 거실과 안방의 평균 CO₂농

도는 791ppm이며 4개 주택(H4, H7, H10, H15)이 1,000ppm을 초과하였다. 아침의 평균 CO₂농도는 거의 1,000ppm에 육박하고 있으며, 저녁의 평균 CO₂농도보다 1.2배 높은 것으로 조사되었다. 아침에 CO₂농도 1,000ppm을 초과한 주택수(7개)도 저녁에 초과한 주택수(4개)에 비하여 1.75배 높았다.

거실에서 아침 CO₂농도 표준편차는 221ppm, 거실에서 저녁 CO₂농도 표준편차는 232ppm, 안방 아침 CO₂농도 표준편차는 571ppm, 안방 저녁의 CO₂농도 표준편차는 349ppm이다. CO₂농도의 표준편차는 안방 아침이 제일 높고 그 다음이 안방 저녁, 거실 아침, 거실 저녁 순으로 분석되어 안방 아침에 표준편차가 큰 원인에 대한 분석이 필요하다.

거실과 안방을 아침과 저녁에 CO₂농도를 측정한 총 96회 치수의 평균은 882ppm이었다. 각각 경우 최솟치는 466ppm, 465ppm, 462ppm, 493ppm으로 외부 대기의 CO₂농도보다 약간 높은 것으로 분석되었다. 조사 대상 주택은 5월과 여름철 그리고 9월에 비교적 환기가 잘되는 계절에 측정하였음에도 불구하고 환경부 CO₂농도 기준인 1,000ppm에 육박하고 있는 것으로 조사되었다.

조사 주택의 거실과 안방의 CO₂농도를 종합적으로 분석하면, 외기 CO₂농도인 400ppm보다는 높게 나타나고 있다. 거실 저녁은 CO₂농도 748ppm으로 장시간 있어도 건강에 문제가 없는 실내 환경을 보이고 있으며, 거실 아침과 안방 저녁은 각각 816ppm, 835ppm으로 건강에 피해는 없지만 불쾌감을 느끼는 사람이 있는 환경이며, 안방 아침은 1,092ppm으로 이보다는 더 불쾌감을 느끼는 환경으로 환경부 1,000ppm 기준을 초과하고 있다.

4. 실내공기 주요 오염원 농도의 특성 분석

4.1. HCHO · TVOC 농도 특성 분석

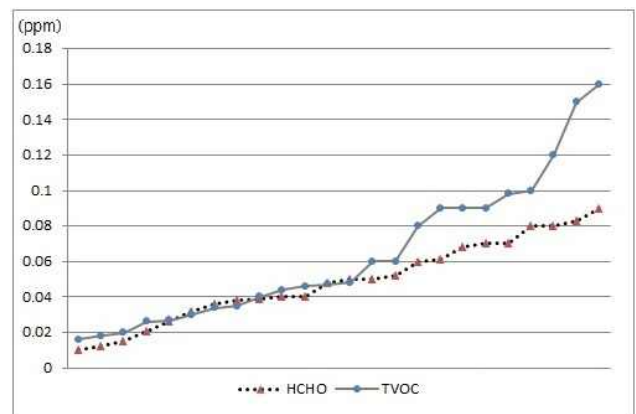


Fig. 3. HCHO · TVOC Concentration according to size

농도를 크기에 따라서 그래프로 그린 것이다. HCHO 농도는 크기에 따라서 고른 경사도를 보이고 있다. TVOC 농도가 낮은 주택은 HCHO 농도가 낮은 주택들과 같은 기울기를 나타내다가 농도가 높은 9개 주택들은 HCHO 농도 그래프보다 더 높게 나타

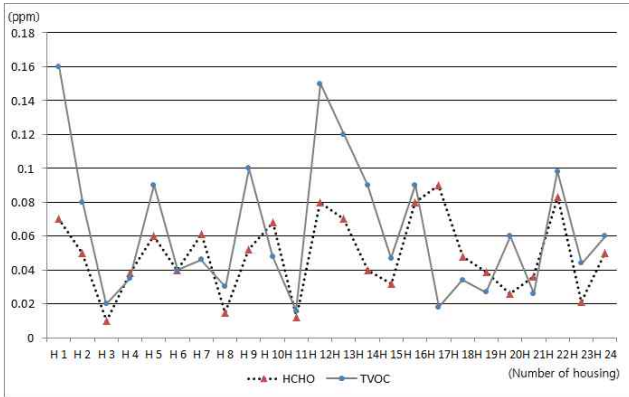


Fig. 4. HCHO · TVOC concentration of housing

나고 있다. 조사 주택의 HCHO 농도는 주택사이에 큰 변화가 없는 반면에 TVOC 농도는 주택사이에 변화가 큰 것으로 분석된다.

그림 4는 각 주택별로 HCHO와 TVOC 농도를 나타낸 그래프이다. HCHO와 TVOC의 농도가 작은 주택과 많은 주택의 그 원인을 마감재와 환기를 중심으로 분석하면 다음과 같다. HCHO와 TVOC의 농도가 같이 0.06ppm이상인 주택은 H1, H5, H12, H13, H16, H22이다. H1은 장판 바닥, 실크벽지 마감된 전형적인 서민 주택으로 환기가 거의 안 되고 있었다. H5는 실크 벽지에 데코타일 바닥으로 마감하였으며, H12는 실크 벽지에 장판 바닥으로 되어 있었다. H13는 2005년 준공된 SB아파트이며 TVOC가 0.08~0.12ppm으로 나타나고 있으며 장판 바닥에 실크벽지 마감되었다. 신혼 가족이 거주한다. 가전제품(냉장고) 앞 1m지점에서 측정된 TVOC 농도는 0.16~0.18ppm으로 측정되어 거실의 TVOC 농도보다 매우 높았다. TVOC가 높은 원인은 신혼 살림의 가전제품 때문으로 분석된다. H16는 2007년에 준공된 LC아파트로 에코맘플러스 바닥재로 되어있다. H22는 2014년 준공된 HD아파트로 균인아파트이며 주택 안에 들어가면서부터 콘크리트 냄새가 진동하였다. 마감재는 평범하다. HCHO는 0.083ppm, TVOC는 0.098ppm으로 상대적으로 높게 나오는 것은 신축되지 얼마 안 되는 주택이기 때문으로 추정된다. 이상에서 분석한 바와 같이 HCHO와 TVOC의 농도가 높은 원인은 구입한지 얼마 안 되는 가전제품, 신축된 주택 그리고 환기 미비 등이다.

HCHO와 TVOC의 농도가 같이 0.04ppm이하인 주택은 H3, H4, H8, H11, H21이다. H3은 1991년에 준공된 다세대주택으로 합지 도배, 장판 바닥으로 10년이상 그대로 사용하고 있다. H4는 1991년에 준공된 SJ아파트로 실크벽지에 데코타일 바닥재로 되어 있고 10년이상 도배를 하지 않았다. H8는 1998년 준공된 HS아파트로 도배한지는 4년이 경과하였다. 측정시간인 7월 21일에는 창문을 열고 생활하고 있었다. H11는 2001년에 준공된 CS아파트로 실내에 조경물을 설치하고 실내공간을 잘 꾸미고 거주한다. H21는 2013년에 준공된 KA아파트로서 실내에는 화분을 많이 배치하고 있다. 이상에서 분석한 바에 의하면 HCHO와 TVOC의 농도가 낮은 원인은 도배를 오랫동안 하지 않은 경우, 실내 화분 등 조경물을 배치한 경우, 그리고 환기를 잘 한 경우 등으로 분석된다.

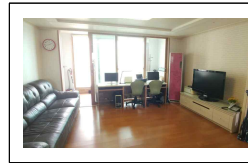


Fig. 5. Living room of H16

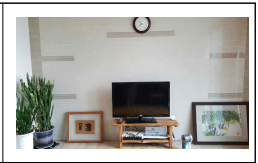


Fig. 6. Living room of H21

4.2. CO₂ 농도 특성 분석

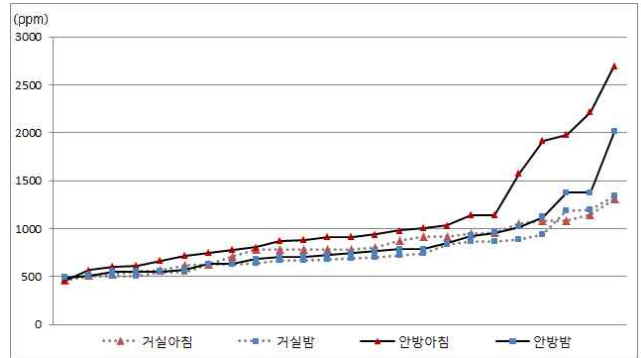


Fig. 7. CO₂ Concentration according to size

그림 7은 24개 주택을 안방과 거실에서 각각 아침과 저녁에 측정된 CO₂농도를 각각 크기 순서대로 그래프를 그린 것이다. 거실 아침, 거실 저녁, 안방 아침, 안방 저녁에 측정된 CO₂농도의 그래프의 추이를 분석하면, 거실의 아침과 저녁 그래프 추이는 큰 변동 없이 465ppm~1,343ppm에서 고른 기울기를 나타내고 있다. 안방의 아침과 저녁 그래프는 작은 순서로부터 19 주택까지는 465ppm~1,200ppm에서 거실의 아침과 저녁 그래프와 대동소이한 기울기를 나타내고 있으나, 나머지 CO₂농도가 큰 5개 주택에서는 기울기가 급상승하고 거실 아침이나 저녁 그래프와 다른 추이를 나타내고 있다. 안방 아침의 CO₂ 농도는 5개 주택에서 1,200ppm~2,700ppm까지 나타나고 있다. 즉 안방은 거실에 비하여 주택에 따라서 CO₂농도의 차이가 큰 것으로 분석된다.

안방 아침에 CO₂농도가 높은 주택을 순위로 나열하면 H1, H10, H19, H17, H15이며, 안방 저녁은 H4, H7, H10, H15, H17이다. 거실 아침과 저녁, 안방 아침과 저녁 모두 CO₂농도가 1,000ppm은 넘는 주택은 H10이다. 이들 주택의 CO₂농도 원인을 분석하면 다음과 같다.

H1은 1988년에 준공된 HD아파트로 바닥면적 99m²에 6인이 거주하고 있다. 안방에서 저녁 8시에 측정된 CO₂농도는 612~784ppm에 분포하고 있지만 아침 8시에는 2,430ppm~2,700ppm으로 아침에 최대 4.41배 높아진 것으로 조사되었다. 그 이유는 창문을 열지 않은 밀폐된 안방에서 4인이 취침하였기 때문으로 분석된다. H15는 2007년에 준공된 HS아파트로 바닥면적 92.4m²에 4인이 거주하고 있다. 안방 CO₂농도는 저녁9시에는 1,375ppm, 아침 8시에는 1,575ppm으로 조사되었다. 이 주택은 저녁과 아침사이에 CO₂ 농도 차이가 크게 발생하지 않고 있다. H17은 2007년에 준공된 LC아파트로 바닥면적은 112m²이며 4인이 거주하고 있다. 저녁 9시에 측정된 CO₂농도는 1,123ppm이었으며 아침 7시에는 1,920ppm이었

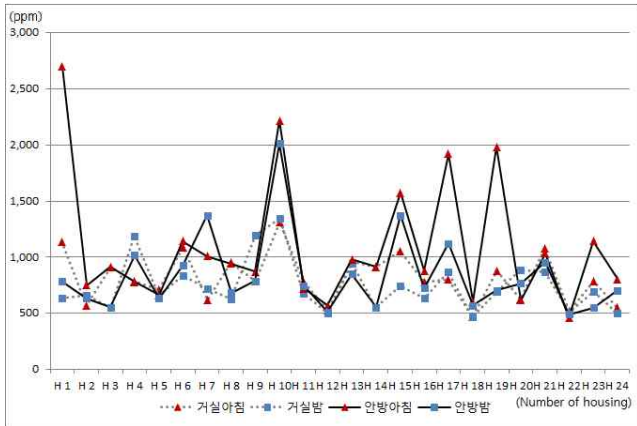


Fig. 8. CO₂ concentration of housings

다. 아침이 저녁에 비하여 1.70배 높게 나타나고 있다. H19는 2010년에 준공된 단독주택으로 바닥면적은 79.2m²이며 2인이 거주하고 있다. 저녁 9시에 측정된 CO₂농도는 705ppm이며, 아침 7시에는 1,982ppm이었다. 이 주택은 아침의 CO₂농도가 저녁에 비하여 2.81배 높은 것으로 분석된다. 이상 분석에 의하면 주택의 안방 CO₂농도가 저녁에는 1,000ppm 이하였다가 아침에 땀기는 4배 이상 높아진 이유는 가족들의 호흡으로 인한 CO₂ 발생과 환기문제 미비로 분석된다.

안방 아침에 CO₂농도가 낮은 주택을 순위로 나열하면 H22, H12, H18, H20, H2이며, 안방 저녁은 H22, H12, H23, H3, H14이다. 거실 아침에 CO₂농도가 낮은 주택을 순위로 나열하면 H18, H22, H12, H24, H2이며, 거실 저녁은 H18, H24, H12, H3, H14이다. 안방 아침, 안방 저녁, 거실 아침, 거실 저녁의 CO₂농도가 낮으면서 서로 차이가 적은 주택은 H2, H5, H12, H18, H22이다. 이들 주택은 CO₂농도가 낮으면서도 거실과 안방의 밤과 아침의 CO₂농도가 비슷하여 바람직한 CO₂공기질을 유지하고 있다.

이들 주택들의 CO₂농도가 낮은 원인을 고찰해본다. H2는 1989년에 준공된 아파트로서 바닥면적 92.4m²에 5인 가족이 거주하고 있다. 6월 18일 저녁 9시와 6월 19일 아침 8시에 측정된 CO₂농도는 566ppm~752ppm에 분포한다. 이 주택은 창문을 열어놓고 취침하기 때문에 CO₂농도가 낮은 것으로 분석된다. H12는 2003년에 준공된 SB아파트로 바닥면적 79.2m²에 2인이 거주하고 있다. 거실 아침과 저녁, 안방 아침과 저녁 모두 CO₂농도가 낮아 CO₂농도가 가장 잘 관리되는 주택이다. 6월 17일 저녁 8시와 6월 18일 오전 8시에 측정된 CO₂ 농도는 502~571ppm이다. 이 주택은 거주인수가 작으면서도 환기 상태가 양호하기 때문 인 것으로 분석된다. H18은 2009년에 준공된 단독 황토주택으로 바닥면적 112m²에 4인이 거주하고 있다. 6월 15일 저녁과 6월 16일 오전 8시에 측정된 CO₂ 농도는 465~605ppm에 분포하고 있다. 이 주택은 주변에 나무로 둘러 쌓여있고 공기가 쾌적한 환경에 위치하고 있으며, 실내 자재도 나무와 황토로 되어 있어 CO₂농도가 낮은 것으로 분석된다. H22는 2014년에 준공된 HD아파트로서 바닥면적 79.2m²에 5인이 거주하고 있다. 6월 17일 저녁 8시와 6월 18일 오전 9시에

측정한 CO₂농도는 462~516ppm에 분포한다. 이 주택은 1층으로 문을 열어 놓고 생활하기 때문에 CO₂농도가 낮은 것으로 분석된다. 이상 분석에 의하여 CO₂농도가 낮은 주택의 요인으로 적은 거주인수, 적절한 환기, 나무나 황토 등 친환경 실내 자재 그리고 쾌적한 주변 환경 등으로 분석된다.

Table. 7. Housings of lower CO₂ concentration (ppm)

	master bedroom		living room	
	morning	night	morning	night
H2	566	665	752	633
H5	712	665	665	633
H12	527	502	571	514
H18	466	465	605	570
H22	516	507	462	493

5. 결론

실내 공기 중에 있는 대표적인 오염물질에 대한 법적 그리고 제도적 규정은 신축 건물을 중심으로 운영되고 있는 실정이다. 본 연구는 기존 주택의 실내 공기 중에 있는 대표적인 오염물질이라 할 수 있는 HCHO, TVOC 그리고 이산화탄소(CO₂) 농도를 측정하고 분석하였다. 수도권의 24개 주택을 선정하여 안방과 거실을 환기가 비교적 자유로운 여름철을 중심으로 아침과 밤에 측정하였다.

거실의 HCHO 농도는 평균 0.048ppm이었으며 0.010ppm~0.090ppm에 분포하였으며, 거실의 TVOC 농도는 평균 0.063ppm이었으며, 0.016ppm~0.160ppm에 분포하였다. 거실에서 TVOC 농도는 HCHO 농도의 1.31배 높았으며, 표준편차도 1.73배 높았다. 거실에서 측정된 CO₂ 농도는 아침에는 평균 816ppm이며 466ppm~1,311ppm에 분포하며, 저녁에는 평균 738ppm이며 465ppm~1,343ppm에 분포한다. 안방에서 측정된 CO₂농도는 아침에 1,092ppm이며 462ppm~2,700ppm에 분포하며, 저녁에는 835ppm이며 493ppm~2,013ppm에 분포한다. CO₂농도는 안방이 거실보다 높고 아침이 저녁보다 높은 것으로 분석되었다. HCHO와 TVOC 농도가 낮은 주택은 도배를 오랫동안 하지 않은 경우, 실내에 화분 등을 배치한 경우, 그리고 환기를 잘 한 경우 등으로 분석된다. CO₂의 농도가 높은 주택은 거주인수, 친환경 실내자재 및 주변 환경이 영향을 미친 것으로 분석되었다. 기존 주택의 CO₂농도는, 여름철임에도 불구하고, 환경부 기준인 1,000ppm에 육박하고 있는 것으로 분석되었으며, 일반 주택들은 겨울철에 환기하기가 어려워지는데 이 때에 주택의 CO₂농도가 크게 악화될 것으로 추정된다.

Acknowledgement

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다. This study was supported by the Research Program funded by the Seoul National University of Science and Technology.

Reference

- [1] 공성용, 이희선, “실내공기질 관리제도 발전방안에 관한 연구”, 한국환경정책평가연구원, 2004 // (Choi, Eung-Ryul, Research on Improvement Measures for Indoor Air Quality Management, 2004)
- [2] 함진식, “신축 공동주택의 포름알데히드 농도 발생 특성과 저감대책에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 계획계, 제 28권 제 9호, 2012 // (Ham, Jin-Sik, "A Study on Formaldehyde Concentration Producing Characteristics and Reducing Method in Newly Built Apartment House" Journal of Architectural Institute of Korea, Korea, Vol.28 No. 9, 2012)
- [3] 이명규, “공동주택의 실내유해환경 관리제도 개선방안에 관한 연구”, 광운대학교, 박사논문, 2015 // (Lee, Myung-Gyu, "A study on improvements of living harmful environment management system of apartment houses" Kwangun-University, Doctorate Thesis, 2015)
- [4] 강효석, “가전제품의 오염물질 방출특성을 고려한 실내공기질 관리기준 설정 연구”, 가천대학교, 박사논문, 2012 // (Kang, Hyo-Suk, "A study on the chemical emission from home alliances and those criteria evaluated with testing chamber method" Kachon-University, Doctorate Thesis, 2012)
- [5] 이철선, “새집증후군 처리를 위한 음이온 페인트 적용법에 대한 연구”, 한국산업기술대학교, 박사논문, 2012 // (Lee, Chul-Sun, "A study on the chemical emission from home alliances and those criteria evaluated with testing chamber method" Hanyang-University, Doctorate Thesis, 2012)
- [6] 이영한 외, 전환기 한국 지속가능발전 종합전략, 한올아카데미, 2015(17 besides YoungHan Lee, A comprehensive strategy for Korea's sustainable development, Hanul Academy, 2015)