



주택 실내 공기중 오염물질 농도의 동절기와 하절기 비교 분석

A Comparative Analysis on Concentration of Pollutants in Housing Indoor-Air between Winter and Summer

남기철* · 이영한** · 최봉석***

Nam, Ki-Cheul* · Lee, Young-Han** · Choi, Bong-Seok***

* Ceo.Huris.co.ltd, South Korea (nava1103@hanmail.net)

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

*** Student, The Graduate School of Industry and Engineering, Seoul National University of Science and Technology, South Korea (troopers01@daum.net)

ABSTRACT

Purpose: The study is to measure concentrations of indoor air pollutants in housing and to analyze the characteristics of pollutants in housing indoor-air between summer and winter comparatively. 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 winter 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. The characteristics of HCHO, TVOC, CO₂ concentration in winter were analyzed and then the concentrations in winter were analyzed the concentrations in summer being preceding research comparatively. **Result:** Average concentration of TVOC in winter was 2.7 times more than that of TVOC in summer, average concentration of HCHO in winter was about 2.0 times more than that of HCHO in summer. Average concentration of CO₂ in the morning at living room in winter was 1.3 times more than that of CO₂ in summer. Average concentration of CO₂ in the morning at master bedroom in winter was 1.1 times more than that of CO₂ in summer. 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 or over to 1,000ppm being criteria of the Ministry of Environment

KEYWORD

건강친화형 주택
실내공기질
포름알데히드
총휘발성유기화합물
이산화탄소Healthy Housing
Indoor-Air Quality
HCHO
TVOC
CO₂

ACCEPTANCE INFO

Received Apr 27, 2017

Final revision received Jun 2, 2017

Accepted Jun 7, 2017

© 2017 KIEAE Journal

1. 서론

실내 공기의 오염물질로부터 원인이 되는 질병들은 권태, 피로, 천식, 피부염, 알러지 등으로부터 암 등 치명적인 질병들까지 다양한 것으로 밝혀지고 있다.¹⁾ 실내 공기 오염물질은 생물성, 무기성, 유기성으로 구분할 수 있는데, 생물성으로는 바이러스, 박테리아, 곰팡이 등, 무기성으로는 CO₂, NO₂, SO₂, 라돈, 먼지 등, 유기성으로는 TVOC, HCHO, 살충제 등이 있다. 이들 오염물질 중에서 실내 주 오염물질인 포름알데히드(HCHO, Hydrogen Carbon Hydrogen Oxygen), 총휘발성유기화합물(TVOC, Total Volatile Organic Compounds) 그리고 이산화탄소(CO₂)를 본 연구의 대상으로 한다.

본 연구는 주택의 실내 공기 중 오염물질의 농도를 실태 조사하고 분석하는 것을 목적으로 한다. 기존 주택에서 HCHO, TVOC, CO₂ 농도를 측정하고 이 측정값의 특성을 분석하고, 그 발생 원

인을 밝히고자 하였다. 수도권에 과거 30여 년 동안 건립된 주택을 대상으로 측정기기 SKT100-X5를 사용하여 HCHO와 TVOC 농도를 거실에서 아침과 저녁에 조사하였으며, 측정기기 ZGm053UK를 사용하여 CO₂ 농도를 안방과 거실에서 아침과 저녁에 각각 조사되었다.

본 논문은 선행 연구인 “기존 주택의 하절기 실내 공기중 HCHO, TVOC, CO₂ 농도 실태 조사분석”²⁾의 후속 연구이다. 이 선행논문에서 다룬 하절기 실내 공기중 오염물질에 이어 본 논문에서는 동절기 실내 공기중 오염물질 농도를 조사하고 분석하였다. 동절기 공기중 오염물질 농도를 실태조사 분석하고 더 나아가 선행연구에서 분석된 하절기 오염물질의 농도 특성과 비교 분석하였다. 본 논문을 통하여 기존 주택의 실내중 오염물질의 실태와 계절별 특성이 파악됨으로서 주택의 실내 공기질 관리를 위한 기초 자료로서 활용될 수 있기를 기대한다.

2. 동절기 실내공기 오염물질 조사 개요

2.1. 조사 대상 주택 개요

조사 대상 주택은 인천지역을 중심으로 입지하고 있는 일반 서민 주택으로 최근 30년 동안 준공된 주택을 대상으로 하였다. 준공연도는 1988년~2015년에 분포한다. 1988년, 1989년, 1991년, 1994년, 1995년, 1998년, 2001년, 2003년, 2005년, 2007년, 2009년, 2010년, 2013년, 2014년, 2015년에 준공된 주택으로 연도별로 골고루 분포하도록 하였다. 그 중간 값이 2002년이므로 평균적으로 볼 때에 2017년 현재를 기준으로 15년 정도가 경과한 주택이다. 주택의 유형은 공동주택 15개 단지에 16호, 다세대 4단지에 4호, 단독주택 4호 총 24개 주택이다. 호당 총

바닥면적은 평균 86.3m² (26.1평)으로 일반 서민 주택 규모인 국민주택 규모(전용 바닥 면적 85m²)에 근접한다. 바닥면적 112m² 주택 6호, 99m² 주택 5호, 92m² 주택 3호, 79.2m² 주택 7호, 66m² 주택 1호, 59.4m² 주택 2호이다. 호별 가족 수는 평균 3.54인이다. 6인 가구가 1호, 5인 가구가 2호, 4인 가구가 13호, 3인 가구가 2호, 2인 가구가 5호, 1인 가구가 1호다.

조사대상 각 주택의 각 요소별 평균치에 의하여 그 특성을 본다면, 인천에 입지한 아파트로 2002년에 준공되어 15년이 경과하였다. 호별 바닥면적은 86.3m² (26.1평)이며, 호별 가족 수는 3.5인이며, 1인당 바닥면적은 24.3m² (7.3평)이라고 볼 수 있다.

2.2. 실내 오염물질 조사 일정 및 측정기기 개요

Table 1. Outline of investigated housings

num of housing	year of completion	size of family	floor area (m ²)	location	name ³⁾
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	Slapt
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

Table 2. Time of field investigation

num of housing	time of investigation
H 1	2017. 02. 17. 19:00- 2017. 02. 18. 08:00
H 2	2016. 11. 27. 21:00- 2016. 11. 28. 08:00
H 3	2017. 02. 02. 19:30- 2017. 02. 03. 07:00
H 4	2016. 12. 04. 20:00- 2016. 12. 05. 07:00
H 5	2016. 12. 07. 20:00- 2016. 12. 08. 07:00
H 6	2017. 01. 20. 17:00- 2017. 01. 21. 08:00
H 7	2017. 01. 26. 23:00- 2017. 01. 27. 11:00
H 8	2017. 01. 10. 18:00- 2017. 01. 11. 10:00
H 9	2017. 01. 23. 18:00- 2017. 01. 24. 10:00
H10	2017. 02. 09. 17:00- 2017. 02. 10. 10:00
H11	2017. 01. 05. 17:00- 2017. 01. 06. 09:00
H12	2017. 02. 07. 18:00- 2017. 02. 08. 09:00
H13	2017. 01. 21. 18:00- 2017. 01. 22. 08:00
H14	2017. 02. 01. 21:00- 2017. 02. 02. 09:00
H15	2017. 02. 03. 20:00- 2017. 02. 04. 08:00
H16	2016. 12. 06. 20:00- 2016. 12. 07. 08:00
H17	2016. 12. 01. 20:00- 2016. 12. 02. 09:00
H18	2017. 01. 13. 17:00- 2017. 01. 14. 08:00
H19	2017. 02. 10. 18:00- 2017. 02. 11. 08:00
H20	2017. 02. 04. 21:00- 2017. 02. 05. 10:00
H21	2017. 01. 09. 17:00- 2017. 01. 10. 10:00
H22	2017. 01. 18. 18:00- 2017. 01. 19. 09:00
H23	2016. 11. 25. 22:00- 2016. 11. 26. 08:00
H24	2017. 03. 07. 17:00- 2017. 03. 08. 09:00

실태 조사는 2016년도 11월~2017년 3월에 걸쳐 5개월간 진행하였으며, 2016년12월~2017년 2월에 집중적으로 이루어졌다. 2016년 11월 25일~28일, 12월 1일~8일, 2017년 1월 9일~27일, 2월 2일~11일 기간에 총 35일 동안 수행되었다. HCHO와 TVOC 농도는 거실에 측정기기를 놓고 저녁시간을 이용하여 측정하였다. 또한 가전제품(냉장고) 주변의 HCHO, TVOC 농도는 가전제품 앞 1m 이내에 측정기기를 놓고 가전제품 주변의 실내 오염도를 측정하였다. CO₂ 농도는 거실과 안방에 측정기기를 놓고 각각 저녁과 아침에 측정하였다. 측정기기를 실 중앙바닥에 밤 17시, 20시에 시작하여 다음날 아침 7~10시까

3) **apt에서 **는 아파트명 영문 이니셜이며, multiplex house는 다세대주택, single house는 단독주택임

지 설치하였으며, 아침과 저녁에 10~30분 측정하여 최소치와 최고치를 계속하였다. 거실에서 CO₂ 농도는 아침에는 부엌에 측정기기를 놓고 취사 조리를 하고 있는 시간에 측정하였다. 안방에서 CO₂ 농도는 저녁 퇴근 후 취침 전 시간과 아침 자고 일어났을 때에 측정하였다.

이 실태 조사에 사용한 측정기기는 SKT100-X5와 ZGm053UK이며, 표 3은 이 기기들의 사양서 중 중요사항이다.

Table 3. specs of measuring instruments

specs	
measurable gas	HCHO, TVOC
type of measurement	internal suction pump
type of sensor	electric-chemical
degree of precision	± 3%
linearity	± 1%
measurement time	10secs
Data Logger	10,000 channel
CO ₂ range	450 ~ 3,000ppm
temperature range	0 ~ 50°C
instrument size	116/42/24mm
rated voltage	5VDC
country of manufacture	made in China

3. 동절기 실내공기 오염물질 실태 조사

3.1. HCHO와 TVOC 농도 실태 조사 분석

Table 4. Concentration of HCHO and TVOC

num	HCHO(ppm)		TVOC(ppm)	
	living room	near appliances	living room	near appliances
H1	(0.120~)0.200	(0.090~)0.150	(0.150~)0.400	(0.100~)0.160
H2	0.020	0.020	0.050	0.030
H3	(0.030~)0.040	0.080	(0.080~)0.100	0.010
H4	0.100	(0.080~)0.090	(0.180~)0.190	(0.140~)0.150
H5	0.050	(0.060~)0.070	(0.100~)0.110	(0.090~)0.100
H6	(0.060~)0.090	(0.090~)0.190	(0.080~)0.190	(0.080~)0.200
H7	(0.005~)0.010	(0.010~)0.030	(0.010~)0.030	(0.010~)0.020
H8	(0.030~)0.130	(0.040~)0.160	(0.080~)0.290	(0.100~)0.090
H9	(0.030~)0.054	(0.042~)0.061	(0.020~)0.074	(0.040~)0.071
H10	(0.060~)0.120	(0.080~)0.180	(0.120~)0.210	(0.140~)0.250
H11	(0.050~)0.080	(0.050~)0.100	(0.060~)0.080	(0.040~)0.090
H12	(0.030~)0.050	(0.020~)0.050	(0.060~)0.130	(0.070~)0.150
H13	(0.030~)0.060	(0.020~)0.090	(0.050~)0.090	(0.040~)0.070
H14	(0.120~)0.280	(0.230~)0.300	(0.070~)0.180	(0.070~)0.090
H15	0.010	0.050	(0.020~)0.030	(0.010~)0.050
H16	(0.053~)0.090	(0.016~)0.080	(0.143~)0.177	(0.160~)0.185
H17	(0.050~)0.090	(0.060~)0.120	(0.170~)0.180	(0.120~)0.130
H18	(0.050~)0.130	(0.070~)0.190	(0.090~)0.190	(0.090~)0.230
H19	(0.050~)0.150	(0.070~)0.190	(0.080~)0.170	(0.090~)0.210
H20	(0.030~)0.050	(0.040~)0.060	(0.090~)0.200	(0.100~)0.120
H21	(0.110~)0.160	(0.110~)0.160	(0.270~)0.350	(0.280~)0.360
H22	(0.050~)0.090	(0.060~)0.210	(0.130~)0.210	(0.110~)0.180
H23	(0.090~)0.100	0.190	(0.019~)0.200	0.400
H24	(0.030~)0.070	(0.050~)0.090	(0.100~)0.130	(0.060~)0.150
average	0.092	0.121	0.165	0.145

표 4은 각 주택별로 측정된 HCHO와 TVOC 농도의 최대치

와 최소치를 정리한 표이다. 괄호 안은 최소치를 나타낸다. 각 주택의 오염물질 최대치를 기준으로 분석한다. 24개 주택 거실에서 측정된 HCHO 농도 최대치의 평균은 0.092ppm이며, 최대 0.280ppm에서 최소 0.010ppm 사이에 분포한다. 환경부 HCHO 농도 기준인 0.156ppm을 초과한 주택(H1, H14, H21)은 3개이며 전체 주택 중 12.5%에 해당한다. 가전제품 주변 실내공기의 HCHO 농도 경우, 평균 치수는 0.121ppm이며, 최대 0.300ppm 최소 0.020ppm 사이에 분포한다. 가전제품 주변 HCHO 평균 농도는 거실 평균보다 1.31배 높게 나타난다.

24개 주택의 거실에서 측정된 TVOC 농도는 평균 0.165ppm이며, 최대 0.400ppm 최소 0.030ppm 사이에 분포한다. 가전제품 주변 TVOC 농도는 평균 0.145ppm이었으며, 가전제품 주변 평균 TVOC 농도는 거실 평균보다 0.87배 높게 분석되었다.

거실의 TVOC 농도 평균은 HCHO 농도 평균의 1.79배 높게 분석되었으며, 주택에 따른 TVOC 농도 편차는 HCHO 농도 편차보다 큰 것으로 분석된다.

3.2. CO₂ 농도 실태 조사 분석

Table 5. Concentration of CO₂(unit. ppm)

num	living room		master bedroom		average of each house	average of liv.	average of mast.	average of morn.	average of night
	morn ing	night	morn ing	night					
H1	699	626	1,265	530	780	662	897	982	578
H2	1,020	1,405	1,030	1,450	1,226	1,212	1,240	1,025	1,427
H3	2,390	1,590	2,850	1,650	2,120	1,990	2,250	2,620	3,240
H4	920	1,300	1,000	1,203	1,105	1,110	1,101	960	1,251
H5	802	700	990	830	830	751	1,820	896	765
H6	1,350	1,170	1,790	1,570	1,470	1,260	1,680	1,570	1,370
H7	926	1,190	976	1,315	1,101	1,058	1,145	951	1,252
H8	770	717	806	797	772	743	801	788	757
H9	952	652	545	625	693	802	598	748	638
H10	910	1,264	1,124	1,181	1,119	1,087	1,152	1,017	611
H11	920	780	810	800	827	850	805	865	790
H12	712	536	1,055	538	710	624	796	883	1,074
H13	1,025	1,075	1,075	1,060	1,058	1,050	1,067	1,050	1,067
H14	820	510	830	530	672	665	680	825	520
H15	1,103	851	1,247	832	1,008	977	1,039	1,179	841
H16	1,035	844	1,255	903	1,009	939	1,079	1,145	873
H17	1,655	1,085	2,190	1,065	1,498	1,370	1,627	1,922	1,075
H18	893	792	998	882	891	842	940	945	837
H19	1,208	1,014	1,231	980	1,108	1,111	1,105	1,219	997
H20	1,233	890	1,520	910	1,138	1,061	1,215	1,376	900
H21	878	1,130	906	1,100	1,003	1,004	1,003	892	1,115
H22	1,545	832	2,490	1,950	1,704	1,188	1,095	2,017	1,391
H23	845	945	994	613	849	895	803	919	779
H24	1,115	1,290	1,205	1,120	1,182	1,202	1,162	1,160	1,205
average	1,071	966	1,092	1,018	1,078	1,019	1,129	1,164	1,056

표 5는 조사 대상 24개 주택의 CO₂ 농도를 정리한 표이다. CO₂ 농도는 거실과 안방에서 각각 조사되었으며, 아침과 저녁에 측정하였다. 거실에서 아침에 측정된 CO₂ 농도는 평균 1,071ppm이었으며 최대 2,390ppm 최소 699ppm 사이에 분포하였다. 거실에서 저녁에 측정된 CO₂ 농도는 평균 966ppm이었으며 최대 1,590ppm 최소 510ppm 사이에 분포하였다. 거실에서 아침과 저녁

에 측정된 CO₂ 농도 평균은 각각 환경부 CO₂ 농도 기준 1,000ppm의 107%, 96%이며, 거실에서 아침에 CO₂ 농도가 저녁의 농도에 비하여 1.18배 높은 것으로 분석된다. 환경부 CO₂ 농도 기준 1,000ppm을 초과하는 주택은 아침에는 12개 주택(H2, H3, H6, H13, H15, H16, H17, H19, H20, H22, H24)으로 전체 24개 주택 중 약 50.0%에 해당하며, 저녁에는 11개 주택(H2, H3, H4, H6, H7, H10, H13, H17, H19, H21, H24)으로 전체 24개 주택의 45.8%에 해당한다.

안방에서 아침에 측정된 CO₂ 농도는 평균 1,092ppm이었으며 최대 2,850ppm 최소 545ppm 사이에 분포하였다. 안방에서 저녁에 측정된 CO₂ 농도는 평균 1,018ppm이었으며 최대 1,950ppm 최소 530ppm 사이에 분포하였다. 안방에서 아침과 저녁에 측정된 CO₂ 농도 평균은 각각 환경부 CO₂ 농도 기준 1,000ppm의 109.2%, 101.8%이며, 안방에서 아침에 CO₂ 농도가 저녁의 농도에 비하여 1.07배 높은 것으로 분석된다. 환경부 CO₂ 농도 기준 1,000ppm을 초과하는 주택은 아침에는 15개 주택으로 전체 24개 주택 중 약 62.5%에 해당하며 저녁에는 11개 주택으로 전체 24개 주택의 45.8%에 해당한다.

거실에서 아침과 밤에 측정된 CO₂ 농도 평균은 1,019ppm이며 1,000ppm을 초과한 주택은 13개이다. 안방에서 아침과 저녁에 측정된 CO₂ 농도 평균은 1,129ppm이며, CO₂ 농도 1,000ppm을 초과한 주택은 16개로 전체 주택의 66%에 해당한다. 조사 대상 24개 주택들의 거실 CO₂ 농도 평균은 환경부 1,000ppm 기준의 101.9%이며, 안방은 환경부 1,000ppm 기준의 112.9%이다. 안방 CO₂ 농도는 거실 CO₂ 농도에 비하여 1.04배 높은 것으로 조사되어 하루 전체로 볼 때에 안방과 거실의 CO₂ 농도는 같다고 볼 수 있다.

아침에 거실과 안방의 평균 CO₂ 농도는 1,164ppm이며 12개 주택이 환경부 CO₂ 기준인 1,000ppm을 초과하여 전체 주택의 50%에 해당한다. 밤에 거실과 안방의 평균 CO₂ 농도는 1,056ppm이며 11개 주택이 1,000ppm을 초과하여 전체 주택의 45.8%에 해당한다. 아침의 평균 CO₂ 농도는 저녁의 평균 CO₂ 농도보다 1.12배 높은 것으로 조사되어 약간 높게 나타난다. 아침에 CO₂ 농도 1,000ppm을 초과한 주택 수(12개)도 저녁에 초과한 주택 수(11개)로 거의 비슷하다.

전체적으로 거실과 안방을 각각 아침과 저녁에 CO₂ 농도를 측정된 회수는 총 96회이며, 그 평균 치수는 1,078.4ppm이었다. 환경부 CO₂ 농도 기준인 1,000ppm에 육박하고 있는 것으로 조사되었다. 거실과 안방 그리고 아침과 저녁의 각각 4가지 경우 최소 농도도 510ppm, 530ppm, 536ppm, 538ppm으로 측정되어 외부 대기의 적정 CO₂ 농도(400ppm)보다 100ppm 이상 높은 것으로 분석되었다. CO₂ 농도는 거실 저녁, 안방 저녁, 거실 아침, 안방 아침 순으로 약간 높아지고 있으며, 각각 966ppm, 1,018ppm, 1,072ppm, 1,092ppm이다. 환경부 1,000ppm 기준을 약간 미달하거나 초과하고 있다. 이 농도의 공기에서는 장시간 거주 시 불쾌감을 느낄 수 있고, 건강에 피해는 없지만 불쾌감을 느끼는 사람이 있는 실내 환경이다.

4. 동절기 실내공기 오염물질 특성 분석

4.1. HCHO · TVOC 농도 특성 분석

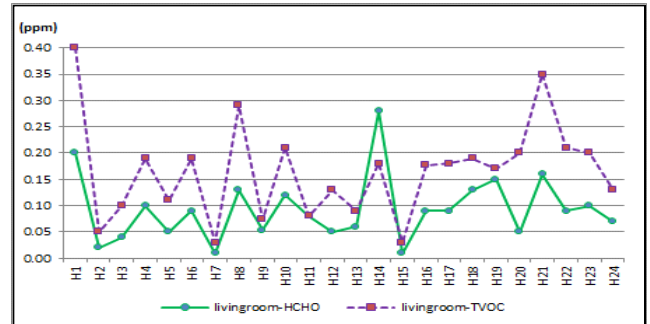


Fig. 1. HCHO·TVOC concentration of housing

그림1.은 24개 주택(H1~H24)의 HCHO와 TVOC 농도를 나타낸 그래프이다. HCHO와 TVOC의 농도가 상대적으로 낮은 주택과 높은 주택의 그 원인을 마감재와 환기를 중심으로 분석하면 다음과 같다. HCHO 농도 기준치를 초과한 주택은 H1, H14, H21로 3개 주택이었으며, TVOC 농도 기준치를 초과한 주택은 H1, H4, H6, H8, H10, H14, H16, H17, H18, H19, H20, H21, H22, H23로 14개 주택이었다. 24 주택 중 HCHO 농도 기준치를 초과한 주택은 12.5%이었으며, TVOC 농도 기준치를 초과한 주택은 58%이었다.

이들 오염물질 농도 기준을 초과한 14개 주택의 오염물질 발생 원인을 분석하면 다음과 같다. 우선, 동절기로 환기 횟수가 여름에 비하여 상대적으로 적었다. 조사당시 환기를 확인한 바 환기를 한 주택은 14개 주택 중 6개 주택에 불과하였다. 또한 접착제 및 우레탄 폼도 HCHO의 발생 원인으로 분석되었다. TVOC 발생원으로는 페인트와 방향제, 옷의 세정제과 함께 겨울철 난방으로 온도의 상승으로 인하여 페인트 결합물의 발화도 지적할 수 있다. 14개 주택 중에서 8개 주택이 준공된 지가 10년 미만이었으며, 6개 주택은 10년 이상 주택이었다. 실내 거실 환경으로 도배 및 장판을 교체한 지가 5년 미만인 집이 많았으며, 오염물질의 방출이 많은 실크벽지로 벽체를 한 집이 합지(일반 종이 벽지)로 도배한 집보다 많았다. 이러한 면도 오염물질 농도에 영향을 주었을 것으로 추정한다.

HCHO와 TVOC의 농도가 기준치보다 낮은 주택은 H2, H3, H9, H11, H12, H13, H15, H24으로 8개 주택이었다. 전체 24 주택 중 33%이었다. 나머지 주택은 HCHO와 TVOC의 농도 중 한 가지 이상이 기준치를 초과하고 있었다.

4.2. CO₂ 농도 특성 분석

그림2.는 24개 주택(H1~H24)의 거실 아침, 거실 밤, 안방 아침, 안방 밤 4가지 경우의 CO₂ 농도를 나타낸 그래프이다. 4가지 경우 모두가 기준 CO₂ 농도를 초과한 주택은 H2, H3, H6, H13, H17, H24로 6개 주택이다. 전체 주택 중 25%이다. 가장 높은 주택은 H3으로 거실 아침이 2,390ppm, 안방 아침이 2,850ppm이

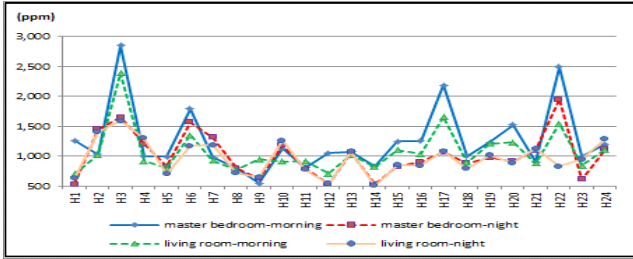


Fig. 2. CO₂ concentration of housings

다. 이 주택은 장시간 이런 상태를 유지할 경우, 질병을 유발할 위험 군에 속해 있다. 이들 6개 주택의 평균 가족 수는 4명이었다. 주택의 평면 면적은 112㎡ 1주택, 99㎡ 2주택, 92㎡ 1주택, 79㎡ 2주택으로 평균 80㎡이었다. 가족 1인당 면적은 20㎡으로 상대적으로 작다.

전체 24개 주택 중 70%인 17개 주택이 거실 아침, 거실 밤, 안방 아침, 안방 밤 중 하나 이상이 CO₂ 농도 기준치를 초과하였다. 11개 주택이 거실 아침과 거실 밤이, 15개 주택이 안방 아침이, 11개 주택이 안방 저녁이 기준치를 초과하였다. 안방 아침에 CO₂ 농도 초과 주택 수가 안방 밤보다 4개 더 많다. 겨울철이라서 취침 중에 환기를 부족해서 일어나는 것으로 분석된다. 주택의 바닥면적은 112㎡ 3개 주택, 99㎡ 4개 주택, 92㎡ 2개 주택, 79㎡ 6개 주택, 66㎡ 1개 주택, 59㎡ 1개 주택이었다. 작은 바닥 면적 주택이 CO₂ 농도가 상대적으로 높았다.

안방 아침에 CO₂ 농도 기준치를 초과하는 주택을 순위로 나열하면 H3, H22, H17, H6, H20이며, 안방 밤에는 H22, H3, H6, H2, H7이다. 이들 주택의 CO₂ 농도 원인을 분석하면 다음과 같다. H3은 안방 오후 7시 30분에 측정된 CO₂ 농도는 1,650ppm에 분포하고 있지만 오전 7시에는 2,850ppm으로 아침에 최대 1.73 배 높아진 것으로 조사되었다. 이 주택은 1991년에 준공된 다세대로서 바닥면적 79.2㎡에 4인이 거주하고 있다. 거주밀도가 높으면서도 창문을 열지 않은 밀폐된 안방에서 취침하였기 때문에 분석된다. H22는 안방 CO₂ 농도는 오후 6시에는 1,950ppm, 오전 9시에는 2,490ppm으로 조사되었다. 오전과 오후 사이에 CO₂ 농도 차이는 1.28배 차이를 보이고 있다. 2014년에 준공된 아파트로 바닥면적 79.2㎡에 5인이 거주하고 있다. 최근 준공한 아파트이면서 거주 밀도가 높은 것이 원인으로 분석된다. H17은 오후 8시에 측정된 CO₂ 농도는 1,065ppm이었으며 오전 9시에는 2,190ppm이었다. 2007년에 준공된 아파트로 바닥면적은 112㎡이며 4인이 거주하고 있다.

거실 아침, 거실 밤, 안방 아침, 안방 밤 경우 모두, CO₂ 농도가 기준치 이하인 주택은 H5, H8, H9, H11, H14, H18, H23이다. 7개 주택으로 전체 주택 중에 29%에 해당한다. 주택 바닥면적은 112㎡ 3개 주택, 99㎡ 1개 주택, 92㎡ 1개 주택, 79㎡ 1개 주택, 59㎡ 1개 주택이다. 바닥 면적이 큰 주택이 작은 주택보다 CO₂ 농도가 낮게 나왔다. 특이할 점은 H14는 2005년 준공된 바닥면적 59㎡에 4인 가족이 거주하고 있는데, 4가지 경우 모두 CO₂ 농도가 기준치 이하를 유지하고 있었다. 가족 구성원은 30대 후반 부부와 중1, 초등5년생 아들 2명으로 구성되었는데, 자주 환기를

시키고 있었다.

Table. 6. Housings of lower CO₂ concentration (ppm)

	master bedroom		living room	
	morning	night	morning	night
H5	802	700	990	830
H8	770	717	806	797
H9	952	652	545	625
H11	920	780	810	800
H14	820	510	830	530
H18	893	792	998	882
H23	845	945	994	613

5. 하절기와 동절기 실내공기 오염물질 비교 분석

5.1. HCHO와 TVOC 농도 비교분석

Table. 7. HCHO and TVOC concentration of summer⁴⁾ and winter

번호	living room HCHO(ppm)		living room TVOC(ppm)	
	sum.	win.	sum.	win.
H1	0.070	(0.120~)0.200	0.160	(0.150~)0.400
H2	0.050	0.020	0.080	0.050
H3	0.010	(0.030~)0.040	0.020	(0.080~)0.100
H4	0.038	0.100	0.035	(0.180~)0.190
H5	0.060	0.050	0.090	(0.100~)0.110
H6	0.040	(0.060~)0.090	0.040	(0.080~)0.190
H7	0.061	(0.005~)0.010	0.046	(0.010~)0.030
H8	0.015	(0.030~)0.130	0.030	(0.080~)0.290
H9	0.052	(0.030~)0.054	0.100	(0.020~)0.074
H10	0.068	(0.060~)0.120	0.048	(0.120~)0.210
H11	0.012	(0.050~)0.080	0.016	(0.060~)0.080
H12	0.080	(0.030~)0.050	0.150	(0.060~)0.130
H13	0.070	(0.030~)0.060	0.120	(0.050~)0.090
H14	0.040	(0.120~)0.280	0.090	(0.070~)0.180
H15	0.032	0.010	0.047	(0.020~)0.030
H16	0.080	(0.053~)0.090	0.090	(0.143~)0.177
H17	0.090	(0.050~)0.090	0.018	(0.170~)0.180
H18	0.048	(0.050~)0.130	0.034	(0.090~)0.190
H19	0.039	(0.050~)0.150	0.027	(0.080~)0.170
H20	0.026	(0.030~)0.050	0.060	(0.090~)0.200
H21	0.036	(0.110~)0.160	0.026	(0.270~)0.350
H22	0.083	(0.050~)0.090	0.098	(0.130~)0.210
H23	0.021	(0.090~)0.100	0.044	(0.019~)0.200
H24	0.050	(0.030~)0.070	0.060	(0.100~)0.130
average	0.048	0.092	0.063	0.165

24개 주택의 하절기와 동절기 거실에서 측정된 HCHO와 TVOC 농도를 비교 분석하면 다음과 같다. HCHO 농도는 하절기 평균은 0.048ppm이며, 동절기 평균은 0.092ppm이다. 동절기 농도는 하절기 농도보다 약 2배 높은 것으로 나타났다. 하절기 농도는 최소 0.010ppm에서 최대 0.090ppm에 분포하며, 동절기 농도는 최소 0.010ppm에서 최대 0.280ppm에 분포한다. HCHO 농도 동절기 최소치는 하절기 최소치와 같게 나타나고, 동절기 최대치가 하절기 최대치의 3배 정도로 높은 것으로 분석된다.

4) 남기철, 이영한, 앞의 책 118쪽

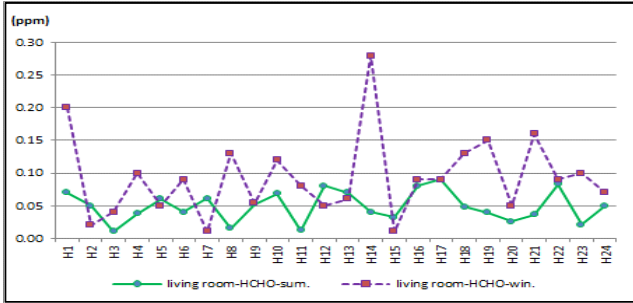


Fig. 3. HCHO concentration of summer and winter

그림 3.은 하절기와 동절기에 24개 주택의 거실에서 측정된 HCHO 농도를 나타낸 그래프이다. 동절기 HCHO 농도가 하절기에 비하여 높게 나타나고 있으며, 하절기 HCHO 농도 편차보다 동절기 편차가 큰 것으로 나타나고 있다. 즉 하절기에 비하여 동절기에 주택들 사이에 HCHO 농도 차이가 큰 것으로 분석된다.

TVOC 농도는 하절기 평균은 0.063ppm이며, 동절기 평균은 0.170ppm이다. 동절기 농도는 하절기 농도보다 약 2.7배 높은 것으로 나타났다. 하절기 농도는 최소 0.016ppm에서 최대 0.160ppm에 분포하며, 동절기 농도는 최소 0.010ppm에서 최대 0.400ppm에 분포한다. TVOC 농도 동절기 최소치는 하절기 TVOC 농도와 큰 차이가 없으나 최대치에서는 큰 차이가 있다. 동절기 최대치는 하절기 최대치의 2.5배 정도로 높은 것으로 분석된다.

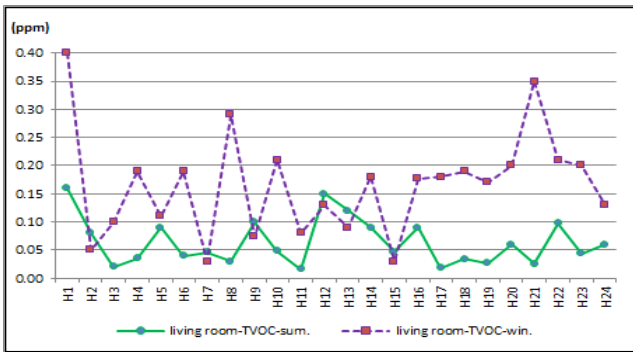


Fig. 4. TVOC concentration of summer and winter

그림 4.는 하절기와 동절기에 24개 주택의 거실에서 측정된 TVOC농도를 나타낸 그래프이다. 동절기 TVOC 농도가 하절기에 비하여 높게 나타나고 있으며, 하절기 TVOC 농도 편차보다 동절기 편차가 큰 것으로 나타나고 있다. 즉 하절기에 비하여 동절기에 주택들 사이에 TVOC 농도 차이가 큰 것으로 분석된다. 하절기와 동절기의 HCHO농도를 평균한 HCHO농도는 0.094ppm이며, 하절기와 동절기의 TVOC 농도를 평균한 TVOC 농도는 0.145ppm이다.

본 분석 대상 주택의 연중 평균 HCHO농도는 0.094ppm, TVOC 농도는 0.145ppm으로 볼 수 있겠다. TVOC 농도는 HCHO 농도보다 1.54배 높은 것으로 분석된다.

겨울철에서 이렇게 여름보다 높게 검출되는 원인은 난방 온도

와 밀접한 관계가 있는 것으로 분석된다. 환경부 기준 겨울철 실내 온도는 24° C이나 아기가 있는 주택이나 70세이상 노인이 거주하는 주택은 평균 실내온도가 28° C~32° C이상이었다. 30° C 이상 되는 H1의 경우 HCHO, TVOC 기준치를 훨씬 초과하여 각각 0.2ppm, 0.4ppm 검출되었다. 이에 비해 젊은이들이나 중장년층이 거주 주택은 HCHO, TVOC가 기준치 이하로 조사되었으며, 이들 주택은 겨울철에도 환기 횟수가 많았다.

5.2. CO₂ 농도 비교 분석

Table. 8. CO₂ concentration of summer⁵⁾ and winter

num	living room				master bedroom			
	sum. morn.	win. morn.	sum. night	win. night	sum. morn.	win. morn.	sum. night	win. night
H1	1,140	699	633	626	2,700	1,265	784	530
H2	566	1,020	665	1,405	752	1,030	633	1,450
H3	914	2,390	550	1,590	914	2,850	556	1,650
H4	783	920	1,190	1,300	781	1,000	1,019	1,203
H5	712	802	665	700	665	990	633	830
H6	1,085	1,350	837	1,170	1,143	1,790	928	1,570
H7	622	926	722	1,190	1,010	976	1,375	1,315
H8	952	770	628	717	942	806	685	797
H9	784	952	1,195	652	874	545	787	625
H10	1,311	910	1,343	1,264	2,218	1,124	2,013	1,181
H11	785	920	681	780	720	810	745	800
H12	527	712	502	536	571	1,055	514	538
H13	959	1,025	941	1,075	982	1,075	849	1,060
H14	914	820	550	510	914	830	556	530
H15	1,050	1,103	742	851	1,575	1,247	1,375	832
H16	781	1,035	636	844	882	1,255	726	903
H17	800	1,655	867	1,085	1,920	2,190	1,123	1,065
H18	466	893	465	792	605	998	570	882
H19	879	1,208	698	1,014	1,982	1,231	705	980
H20	627	1,233	889	890	617	1,520	767	910
H21	1,080	878	867	1,130	1,035	906	955	1,100
H22	516	1,545	507	832	462	2,490	493	1,950
H23	785	845	692	945	1,145	994	551	613
H24	552	1,115	502	1,290	806	1,205	706	1,120
average	816	1,071	748	966	1,137	1,258	835	1,018

하절기와 동절기 CO₂ 농도를 비교하면 다음과 같다. 거실에서 아침에 측정된 CO₂ 농도는 하절기에는 평균이 816ppm이었으며, 동절기에는 1071ppm이었다. 거실에서 아침에 측정된 동절기 CO₂ 농도가 하절기 CO₂ 농도에 비하여 1.31배 높다. 거실에서 밤에 측정된 CO₂ 농도는 하절기에는 평균이 748ppm이었으며, 동절기에는 966ppm이었다. 거실에서 밤에 측정된 동절기 CO₂ 농도도 하절기 CO₂ 농도에 비하여 1.29배 높다. 거실의 동절기 CO₂ 농도는 하절기 농도보다 1.3배 높은 것으로 분석된다. 안방에서 아침에 측정된 CO₂ 농도는 하절기에는 평균이 1,137ppm이었으며, 동절기에는 1,258ppm이었다.

안방에서 아침에 측정된 동절기 CO₂ 농도는 하절기 CO₂ 농도보다 1.1배인 것으로 분석되었다. 안방에서 밤에 측정된 CO₂ 농도는 하절기에는 평균이 835ppm이었으며, 동절기에는 1,018ppm이었다. 안방에서 밤에 측정된 동절기 CO₂ 농도도 하

5) 앞의 책, 119쪽

절기 CO₂ 농도에 비하여 1.2배 높다. 안방의 동절기 CO₂ 농도는 하절기 농도보다 1.2배 이하로 분석된다.

그림 5.6.은 하절기와 동절기의 아침과 밤에 24개 주택의 안방에서 측정된 CO₂ 농도를 나타낸 그래프이다. 동절기 CO₂ 농도가 하절기에 비하여 높게 나타나고 있으며, 하절기 CO₂ 농도 편차보다 동절기 편차가 큰 것으로 나타나고 있다. 즉 하절기에 비하여 동절기에 주택들 사이에 HCHO 농도 차이가 큰 것으로 분석된다.

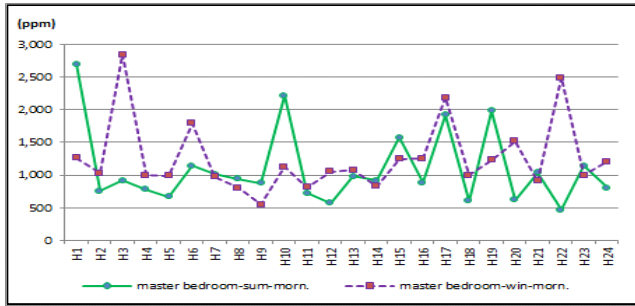


Fig. 5 CO₂ concentration of master bedroom morning

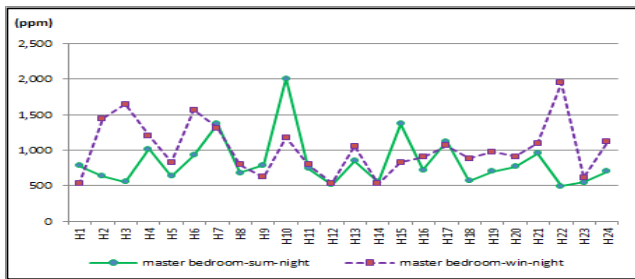


Fig. 6. CO₂ concentration of master bedroom night

6. 결론

조사 대상 24개 주택의 동절기 HCHO 농도 평균은 0.092ppm으로 하절기 평균은 0.048ppm에 비하여 약 2배 높은 것으로 나타났다. 동절기 HCHO 농도는 0.010ppm~0.280ppm에 분포하여, 하절기 농도 분포 0.010ppm~0.090ppm에 비하여 최소치는 같으나 최대치에서 3배 이상 높게 나타난다. 동절기 TVOC 농도 평균은 0.170ppm으로 하절기 평균 0.063ppm보다 약 2.7배 높은 것으로 분석되었다. 동절기 농도는 0.030ppm~0.400ppm에 분포하여 하절기 농도 분포 0.016ppm~0.160ppm에 비하여 최소치에서는 3.0배, 최대치에서 2.5배 높은 것으로 분석된다. 하절기와 동절기의 HCHO농도를 평균한 HCHO농도는 0.094ppm이며, 하절기와 동절기의 TVOC 농도를 평균한 TVOC 농도는 0.145ppm이다. 하절기와 동절기 TVOC 농도 평균은 HCHO 농도 평균보다 1.5배 높은 것으로 분석된다. 주택의 거실에서 동절기에 측정된 HCHO와 TVOC의 농도가 하절기에 비하여 높은 원인은 높은 난방 온도로 인한 실내 오염물질의 발생과 밀폐된 실내 환경때문인 것으로 분석된다.

동절기에 거실에서 아침에 측정된 CO₂ 농도 평균은 1,071ppm으로 하절기 평균이 816ppm에 비하여 1.3배 높다. 동

절기에 거실에서 밤에 측정된 CO₂ 농도는 966ppm으로 하절기 평균 748ppm보다 1.3배 높다. 동절기 안방에서 아침에 측정된 CO₂ 농도 평균은 1,258ppm으로, 하절기 농도 평균 1,137ppm보다 1.1배 높다. 동절기에 안방에서 밤에 측정된 CO₂ 농도 평균은 1,018ppm으로 하절기 농도 평균 835ppm보다 1.2배 높다. 주택의 안방과 거실에서 측정된 CO₂ 농도 평균은 동절기가 하절기보다 약간 1.1~1.3배 높은 정도로 두 계절사이에 큰 차이를 보이지 않고 있다.

주택 거주자의 일상적인 삶의 실내 환경 속에서 실내 공기 중에 오염물질인 포름알데히드(HCHO), 총휘발성유기화합물(TVOC) 농도는 동절기가 하절기에 비하여 2배 이상 높고 또한 동절기 CO₂ 농도는 환경부 기준인 1,000ppm에 근접하거나 초과하고 있어 주택의 동절기 건강한 실내공기질 관리 방안이 요구된다.

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] 남기철, 이영한, 기존 주택의 하절기 실내 공기중 HCHO, TVOC, CO₂ 농도 실태 조사분석, 한국생태환경건축학회 논문집, 제 16권 제 6호(통권 제 82호), 2016.12.(Nam, Ki-Cheul, Lee, Young-Han, An Analysis on HCHO, TVOC, CO₂ Concentration of Existing-Housing Indoor-Air in Summer, KIEAE Journal, Vol.16 No. 6, 2016.12.)
- [3] 남기철, “주택 실내 공기환경 실태조사에 관한 기초연구” 서울과학기술대학교 석사논문, 2017 // (Nam, ki-cheul, A Study on the Actual Condition Indoor-Air Quality in House. Seoultech -University, February,2017)
- [4] 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)
- [5] 이영한 외, 전환기 한국 지속가능발전 종합전략, 한올아카데미, 2015(17 besides YoungHan Lee, A comprehensive strategy for Korea's sustainable development, Hanul Academy, 2015)