



아파트 지하주차장 공기중 HCHO, TVOC, PM 농도 특성 분석

An Analysis on the Characteristics of HCHO, TVOC, PM in Apartment Underground Parking Lot

석연은* · 이영환** · 남기철***

Seok, Yeon-Eun* · Lee, Young-Han** · Nam, Ki-Cheul***

* The dept. of architecture, the Graduate School of Industry and Engineering, Seoul National University of Science and Technology, South Korea (seokyeone@naver.com)

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

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

ABSTRACT

Purpose: The study is to analyze HCHO, TVOC, PM10, PM2.5 concentration of underground parking lot of apartment and to make clear the characteristics. The outputs could be useful for healthy environment policy of underground parking lot. **Method:** The air pollutants in parking lot of 9 middle class apartments built for the 20 years recently were investigated at 1st basement level and 2nd basement level, and at morning and night respectively for 5 minutes. The measuring devices were SKT100-X5 and BR-HOL-82K. **Result:** Average concentration of HCHO was 0.204ppm and respectively the TVOC 0.363ppm and the PM10 $37.4\mu\text{g}/\text{m}^3$, the PM2.5 $30.5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Concentration of HCHO, TVOC in the 2nd basement level was about 3 times more than in the 1st basement level and that at night was about 1.5~1.8 times more than at morning. Concentration of PM10, PM2.5 at the 2nd basement level was almost same as at the 1st basement level and that at night was 1.3 times more than at morning.

KEYWORD

 건강 주택, 실내 공기질
포름알데히드, 총휘발성유기화합물,
미세먼지, 초미세먼지

 Healthy Housing, Indoor-Air Quality,
HCHO, TVOC, PM10, PM2.5

ACCEPTANCE INFO

Received Nov 23, 2017

Final revision received Dec 20, 2017

Accepted Dec 25, 2017

© 2017 KIEAE Journal

1. 서론

아파트의 실내 공기질에 관한 규제는 국토교통부와 환경부 그리고 지자체를 중심으로 관리되고 있다. 환경부는 ‘다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법’을 2014년 3월부터 시행하고 있으며, 2017년 6월부터는 ‘실내공기질 관리법’으로 공기질을 관리하고 있다. 국토교통부는 2016년 1월부터 신축 건물을 중심으로 ‘건강친화형 주택 건설기준’을 시행하고 있다.

본 연구는 수도권에서 20여년 동안 건립된 아파트의 지하주차장에서 오염물질의 현황을 조사하고 그 특성을 밝히는 것을 목적으로 한다. 공기중 주 오염물질인 포름알데하이드(HCHO), 총휘발성유기화합물(TVOC) 그리고 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5)를 대상으로 하였다. 총 9개 아파트 지하주차장에서 HCHO와 TVOC 농도는 SKT100-X5를 사용하여, 초미세먼지와 미세먼지 농도는 BR-HOL-82K를 사용하였으며 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장에서 아침과 저녁에 총 146회 측정하였다. 그 발생 원인을 분석하였고 지하 주차장의 오염물질 농도 특성을 비교 분석하였다. 아직 아파트 지하주차장의 오염물질 농도실태에 대한 기초 자료도 부족하고 또한 관련 규정도 없는 현황에서 연구 성과는 아파트 지하 주차장의 오염물질 관리를 위한 참고 자료로서 활용될 수 있을 것이다.

2. 아파트 지하주차장 공기질 관련 기준 고찰

2.1. 실내 공기중 오염물질 고찰

실내 공기 오염물질(pollutants)은 그 성격에 따라서 유기성(organic), 무기성(inorganic), 생물성(biological)로 구분된다. 유기성 오염물질에는 HCHO, TVOC, 담배연기 등, 무기성 오염물질에는 먼지, 라돈, CO₂ 등, 생물성 오염물질에는 바이러스 등이 있다. 본 연구에서는 건강 위해성이 상대적으로 낮은 것으로 인식되고 있는 생물성 오염물질은 제외하고 유기성 오염물질인 TVOC, HCHO와 최근 심각한 사회문제로 대두되는 PM10, PM2.5 오염 농도를 대상으로 한다.

2.2. 아파트 지하주차장 오염물질 관련 법규 고찰

환경부와 국토부는 실내 공기질을 관리하는 주무부처이다. 환경부가 실내 공기질을 관리하는 주 법은 ‘실내 공기질 관리법’으로, 다중이용시설, 신축 공동주택, 대중교통차량 등을 적용 대상으로 한다. 이 법 제 9조에는 공동주택 시공자는 실내공기질을 측정해야 한다고 되어 있으며, 제 11조에는 공동주택 설치자는 기준을 초과하는 오염물질을 방출하는 자재 사용을 불허한다. 여기서 기존 주택의 개보수도 포함된다.

실내공기질은 유지기준(동 법 제5조 실내공기질 유지기준 등)과 권장기준(동 법 제6조 실내공기질 권고기준)으로 관리되고 있다. 다중이용시설의 소유자 등은 실내 공기질을 쾌적하게 할 수 있는 유지기준을 준수해야 하고, 공기질 유지기준은 시행규칙에서 규정하고 있다. 2016년 12월 22일에 개정된 다중이용시설 실내공기질 유지기준에서 오염물질 항목은 미세먼지(PM-10), 이산화질소(NO₂), 포름알데하이드(HCHO), 총부유세균(TAB), 일산화탄소(CO)이다. 다중이용시설 실내주차장의 실내공기질 유지기준은 미세먼지는 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

이하, 이산화탄소는 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 포름알데하이드는 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 이산화탄소는 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이며, 총부유세균에 대한 기준은 없다. 지하도 상가 등은 미세먼지 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 포름알데하이드 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 기준으로 하고 있다.

지자체장은 공기질 유지기준과는 별도로 다중이용시설의 특성에 따라 쾌적한 공기질을 유지하기 위하여 다중이용시설의 소유자 등은 실내 공기질 권고기준의 준수를 권고할 수 있다. 2017년 12월 31일까지 적용되는 다중이용시설 실내 주차장에서 TVOC를 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 규정하고 있다. 2018.1.1.부터 적용되는 다중이용시설의 실내 공기질 권고기준의 오염물질 항목에는 2017년 12월 31일까지 적용 대상인 석면과 오존을 삭제하고 초미세먼지와 곰팡이를 추가하였다. 다중이용시설의 초미세먼지와 곰팡이 적용대상은 의료기관, 어린이집, 노인요양시설, 산후조리원이며, 초미세먼지를 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 권고하고 있고 실내주차장에는 아직 없는 상태이다. 지하도상가 등은 초미세먼지 기준은 없으며, 총휘발성유기화합물은 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이다. ‘신축 공동주택의 실내공기질 권고기준’에서 포름알데하이드는 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 휘발성 유기화합물도 화합물별로 별도로 규정하고 있다. 자일렌 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 스티렌 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 벤젠은 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 에틸벤젠 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 톨루엔 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 규정하고 있다.

Table 1. Standard of indoor air quality in underground space

		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	HCHO	TVOC	PM10	PM2.5
basic	indoor parking lot	100	-	200	-	
	shop at underground	100	-	150	-	
recomm ending	indoor parking lot	-	1000	-	-	
	shop at underground	-	500	-	-	

표1은 이상의 내용을 정리한 것이다. 지하공간 공기질에서 규제에 필수 대상은 HCHO, PM10이며 권고 대상은 TVOC이며, PM2.5은 아직 필수 대상도 권고 대상도 아니다. 실내 주차장에서는 HCHO 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하가 필수이고, TVOC 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 권고하고 있다. 지하상가에서는 HCHO 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하가 필수이고, TVOC 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 권고하고 있다.

국토교통부는 ‘건강친화형 주택 건설기준’을 중심으로 공동주택의 실내 공기질을 관리한다. 건강친화형 주택은 새집증후군 문제 개선을 목적으로 오염물질 저방출 건축자재 사용과 환기 등을 실시하도록 하고 있다. 친환경 건축자재, 접착제, 친환경 생활제품 그리고 환기 기준 등을 포함하고 있다. ‘실내 공기 오염물질 저방출 건축자재의 적용 기준’에서 평가 대상 물질은 HCHO, TVOC으로, TVOC 방출량 0.10mg/m³·h이하, HCHO 방출량 0.015mg/m³·h이하를 기준으로 하고 있다.

Table 2. Standard of PM in major nations(2013.) (unit, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	time	KOR.	USA	JAN.	CHL.	EU	WHO
PM10	24	100	150	100	150	50	50
	1년	50			50	40	20
PM2.5	24	50	35	35	75		25
	1년		12~15	15	35	25	10

국내 32개 지자체에서는 실외 미세먼지 기준을 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 초미세먼지를 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 관리하고 있다. 이들 미세먼지 기준은 미국이나 중국보다는 기준치가 작지만 EU나 WHO보다는 높으며, 초미세먼지 기준은 중국을 제외하고 주요국가에 비하여 현저하게 높다.

아파트 지하 주차장에 대한 공기질 관리 기준은 우리나라에서는 아직 없는 실정이다. 아파트 지하주차장의 실내 공기질을 분석할 때에 다중이용시설 실내주차장 그리고 지하상가 등의 실내공기질 유지기준 및 권고기준을 참고할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서 이들 기준치를 준용하여 평가한다. HCHO 농도는 다중이용시설의 실내주차장의 유지기준인 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.0746ppm) 이하와 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준인 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.126ppm)이하를 가지고 평가한다. TVOC은 다중이용시설 실내주차장 권고기준인 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.215ppm)이하와 지하도상가 등 권고기준인 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.107ppm)으로 평가한다. 미세먼지는 다중이용시설 실내주차장의 유지기준인 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하와 지하도상가 등 기준인 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 평가한다.

3. 지하주차장 오염물질 조사 분석

3.1. 조사 주택 개요

Table 3. Outline of investigated apartments

num.	name	year of completion	num. of households	num.of parking lots (B1/B2)	location
H1	SW Apt	1995	934	128/128	Anyang Anyangdong
H2	YM Apt	2000	339	128/128	Anyang Anyangdong
H3	DJ Apt	2005	256	110/120	Anyang Suksoodong
H4	BD Palace	2010	299	308/308	Seoul Dansandong
H5	C Vill	2015	232	37/41	Seoul Shindorimdong
H6	RM Apt	2015	949	608/608	Seoul Dangsandong
H7	BR Apt	1995	199	65/85	Seoul Shindaebangdong
H8	CD Vill	2000	160	47/45	Anyangsi Whanyangdong
H9	JS Town	2005	60	24/24	Anyangsi Hogyedong

조사 대상 아파트는 총 9개 아파트 단지로 수도권 지역의 일반 중산층 중심으로 하여 선정하였다. 최근 20여 년동안 준공된 아파트로 1995년 준공 2개, 20년 준공 2개, 2005년 준공 2개, 2010년 준공 1개, 2015년 준공 2개 아파트를 선정했다.

표 3.에서 H1~H6는 일반 아파트이며, H7~H9는 주상복합 아파트로서 다양한 공동주택 유형을 포함시켰다. 준공년도에 따른 중간값은 2005년으로 2017년 현재를 기준으로 약 12년 정도가 경과하였다. 아파트의 세대수는 949세대~60세대에 분포하며, 평균 세대수는 380세대이다. 지하 1층과 지하 2층의 주차대수는 1216대~48대에 분포하며, 평균대수는 326대이다. 이를 2개 층으로 나누면 층별로 163대 꼴이다.

조사한 아파트의 각 요소를 중간 값으로 보면 수도권 남부지역에 입지하고 2005년에 준공되어 12년이 경과한 400여 세대 아파트 단지이다. 주차대수는 지하 1, 2층의 주차대수는 각각 163대라고 볼 수 있다.

3.2. 오염물질 조사 과정

Table 4. Time of field investigation

	time of investigation(2017.)	
	TVOC, HCHO	PM2.5, PM10
H1	0704, 0705, 0706, 0707, 0709, 0710, 0711, 0824, 0825, 0914, 0915, 0917, 0918	0914, 0915, 0917, 0918, 0927, 0928
H2	0710, 0711, 0712, 0713, 0714, 0715, 0716, 0717, 0824, 0825	0914, 0915, 0917, 0918, 0927, 0928
H3	0625, 0626, 0627, 0628, 0629, 0630, 0824, 0825, 0910, 0911, 0912, 0913	0910, 0911, 0912, 0913, 0914
H4	0813, 0814, 0815, 0816, 0817, 0818, 0819, 0820, 0821, 0822	0916, 0917, 0918, 0919, 0920
H5	0828, 0829, 0830, 0831, 0901, 0902, 0903, 0904, 0905	0916, 0917, 0918, 0919, 0920
H6	0813, 0814, 0815, 0816, 0817, 0818, 0819, 0820, 0821, 0822	0920, 0921, 0922, 0923, 0924
H7	0828, 0829, 0830, 0831, 0901, 0902, 0903, 0904, 0905, 0906	0920, 0921, 0922, 0923, 0924
H8	0719, 0720, 0721, 0722, 0809, 0810, 0811, 0910, 0911, 0912, 0913	0910, 0911, 0912, 0913, 0914
H9	0725, 0726, 0727, 0728, 0730, 0731, 0804, 0805, 0809, 0810, 0811, 0910, 0911	0910, 0911, 0912, 0913, 0914

실태조사 기간은 2017년도 6월 25일~9월 28일까지 총 74일에 걸쳐서 총 146회 진행하였다. HCHO와 TVOC는 2017년 6월 25일~9월 18일에 총 65일, 총 98회 진행되었으며, 각 아파트 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장마다 10회~13회 측정하였다. 미세먼지와 초미세먼지는 2017년 9월 10일~9월 28일에 총 17일, 총 57회 진행되었으며, 각 아파트 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장마다 5~6회 측정하였다. 밤에는 10시, 아침에는 5시에 측정하였다. 측정기기를 지하 1층, 지하 2층 주차장 중앙에 설치하고 5분간의 최소치와 최고치를 계속하였다.

Table 5. Specs of measuring instruments

		specs	
SKT100-X5	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	
BR-HOL-82K	measurable range	0.3~1.0, 1.0~2.5, 2.5~10um	
	degree of precision	50%@0.3um, 98%≥0.5um	
	volume	0.1L	
	time	≤10S	
	size	64mmx42mmx23mm	



SKT100-X5



BR-HOL-82K

Fig. 1. Measuring device

HCHO, TVOC 측정 장비는 SKT100-X5, 미세먼지와 초미세먼지 측정 장비는 BR-HOL-82K이며, 표 5.는 이 기기들 사양서 중 중요 사항이다.

3.3. 지하주차장 HCHO·TVOC 농도 실태 조사 분석

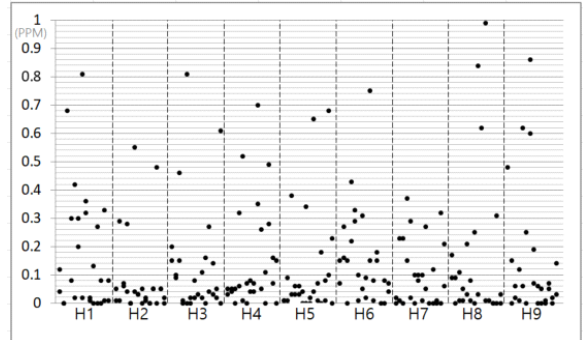


Fig.2. HCHO concentrations distribution in under. parking lot

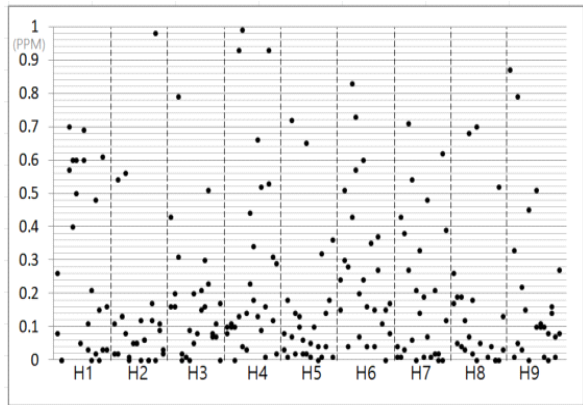


Fig. 3. TVOC concentrations distribution in under. parking lot

도2, 도3은 각 아파트별 지하주차장의 HCHO 측정 농도와 TVOC 측정 농도를 나타내고 있다. 아침과 밤에 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장에서 각각 10여회에 걸쳐서 측정된 최대 농도와 최저 농도 중에서 최대 농도를 그린 것으로 측정된 농도가 0~1ppm 범위 내에 있는 농도를 그린 것이다.

HCHO 농도는 0~0.1ppm에 집중적으로 분포하고 있으며, 0.1ppm을 초과하면 점차 적어진다. TVOC 농도는 0ppm 근처에 집중해 있으며, 1ppm까지 점차로 분포가 적어지고 있다. TVOC 농도 분포는 HCHO 농도 분포에 비하여 넓게 분산된 경향을 보인다.

표 6.은 아파트별로 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장에서 아침과 밤에 측정된 10여회의 HCHO, TVOC 최대 농도 평균값을 정리한 것이다. 9개 아파트의 지하 주차장의 HCHO 최대 농도는 다음과 같다. 지하1층 주차장에서 아침의 농도는 0.012ppm(H5)~0.264ppm(H3)에 분포하며, 밤의 농도는 0.027ppm(H7)~1.228ppm(H8)에 분포한다. 9개 지하 1층 주차장 HCHO 농도는 아침에는 0.089ppm이며 밤에는 0.094ppm이며 아침과 밤의 평균한 값은 0.091ppm이다. 9개 아파트의 지하 2층 주차장은 아침의 농도는 0.080ppm(H5)~0.411ppm(H6)에 분포하며, 밤의 농도는 0.030ppm(H2)~

1.765ppm(H8)에 분포한다. 9개 지하 2층 주차장의 HCHO 농도의 평균값은 아침에는 0.200ppm이며 밤에는 0.434ppm이며 아침과 밤의 평균한 값은 0.317ppm이다. 지하 1층 주차장 농도와 지하 2층 주차장 농도를 평균하면 0.204ppm이다.

Table 6. HCHO, TVOC concentrations in under. parking lot

		HCHO(ppm)		TVOC(ppm)	
		B1	B2	B1	B2
H1	mor.	0.120	0.145	0.305	0.295
	night	0.111	0.487	0.261	0.835
	av.	0.115	0.316	0.283	0.565
		0.216		0.424	
H2	mor.	0.125	0.125	0.242	0.251
	night	0.038	0.030	0.082	0.075
	av.	0.082	0.077	0.162	0.163
		0.080		0.163	
H3	mor.	0.264	0.148	0.531	0.117
	night	0.107	0.232	0.194	0.488
	av.	0.185	0.190	0.362	0.302
		0.188		0.332	
H4	mor.	0.078	0.190	0.171	0.448
	night	0.124	0.185	0.090	0.391
	av.	0.101	0.187	0.130	0.420
		0.144		0.275	
H5	mor.	0.012	0.080	0.038	0.115
	night	0.034	0.324	0.072	0.637
	av.	0.023	0.202	0.055	0.376
		0.113		0.216	
H6	mor.	0.085	0.411	0.195	0.774
	night	0.111	0.268	0.268	0.507
	av.	0.098	0.340	0.232	0.640
		0.219		0.436	
H7	mor.	0.054	0.291	0.098	0.560
	night	0.027	0.187	0.078	0.340
	av.	0.040	0.239	0.088	0.450
		0.140		0.269	
H8	mor.	0.027	0.278	0.060	0.564
	night	0.122	1.765	0.231	2.128
	av.	0.075	1.022	0.145	1.346
		0.549		0.746	
H9	mor.	0.032	0.128	0.065	0.278
	night	0.174	0.430	0.341	0.945
	av.	0.103	0.279	0.208	0.612
		0.191		0.410	
av.	mor.	0.089	0.200	0.190	0.378
	night	0.094	0.434	0.180	0.705
	av.	0.091	0.317	0.185	0.541
		0.204		0.363	

지하 주차장의 HCHO 농도를 다중이용시설 실내주차장의 유지기준인 0.0746ppm으로 평가해보면, 지하 1층 지하주차장 농도는 다중이용시설 실내주차장의 유지기준인 0.0746ppm을 초과하고 있으며, 지하 2층 주차장의 농도는 그 유지기준의 2~5배를 초과하고 있다.

9개 아파트의 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장에서 아침과 밤에 측정된 TVOC의 최대 농도는 다음과 같다. 지하1층 주차장에서 아침의 농도는 0.038ppm(H5)~0.531ppm(H3)에 분포하며, 밤의 농도는 0.072ppm(H5)~0.341ppm(H9)에 분포한다. 9개 지하 1층 주차장의 TVOC 농도는 아침에는 0.190ppm이며 밤에는 0.180ppm이며 아침과 밤의 평균한 값은 0.185ppm이다. 9개 아파트의 지하 2층 주차장은 아

침의 농도는 0.115ppm(H5)~0.774ppm(H6)에 분포하며, 밤의 농도는 0.075ppm(H2)~2.128ppm(H8)에 분포한다. 9개 지하 2층 주차장의 TVOC 농도의 평균값은 아침에는 0.378ppm이며 밤에는 0.705ppm이며 아침과 밤의 평균한 값은 0.541ppm이다.

지하 주차장의 TVOC 농도를 다중이용시설 실내주차장의 유지기준인 0.215ppm으로 평가해보면, 지하 1층 지하주차장 농도는 다중이용시설 실내주차장의 유지기준보다 적게 나타나고 있으며, 지하 2층 주차장의 농도는 그 유지기준의 1.5~3배를 초과하고 있다.

3.4. 지하주차장 PM10·PM2.5 농도 실태 조사 분석

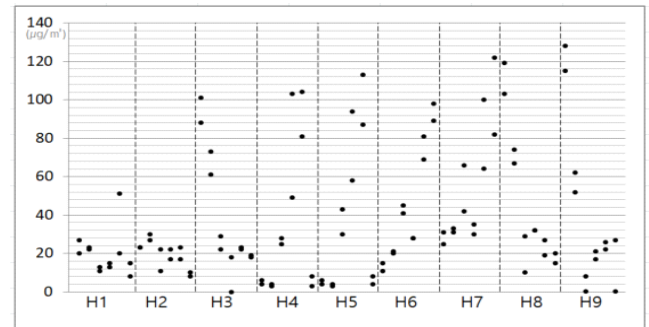


Fig.4. PM10 concentrations distribution in under. parking lot

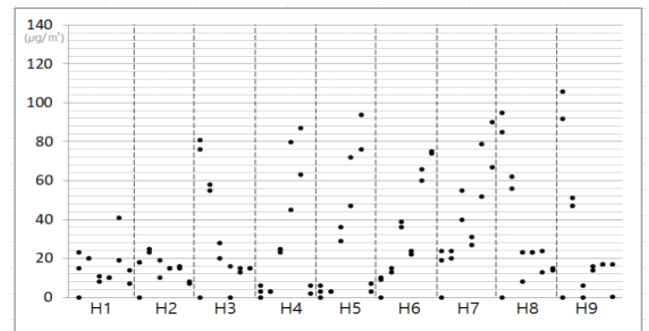


fig.5. PM2.5 concentrations distribution in under. parking lot

도 4.와 도 5.는 미세먼지와 초미세먼지 농도의 분포를 나타내고 있다. 9개 아파트별 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장에서 아침과 밤에 각각 10여회에 걸쳐서 미세먼지 농도와 초미세먼지 농도를 측정하였다. 측정된 최대 농도와 최소 농도 중에서 최대농도를 취하여 그린 것이다. 미세먼지는 0µg/m³~12µg/m³에 분포하며, 0µg/m³~20µg/m³에 상대적으로 편중하는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향은 초미세먼지 농도에도 유사하게 나타나고 있다.

이들 미세먼지 및 초미세먼지의 농도는 다음과 같다. 9개 아파트의 지하1층 주차장 미세먼지는 아침에는 15.3µg/m³(H1)~62.9µg/m³(H7)에 분포하며, 밤에는 17.0µg/m³(H1)~63.6µg/m³(H7)에 분포한다. 9개 측정된 농도의 평균값은 아침에는 35.5µg/m³이며 밤에는 41.2µg/m³이며 아침과 밤의 평균한 값은 38.3µg/m³이다. 9개 아파트의 지하 2층 주차장 초미세먼지는 아침에는 16.6µg/m³(H8)에 분포한다. 이들 농도의 평균값은 아침에는 30.2µg/m³(H1)~48.6µg/m³(H6)에 분포하며, 밤에는 20.6µg/m³(H2)~53.0µg/m³이며 밤에는 42.9µg/m³이며 아침과 밤의 평균한 값은 36.6µg/m³이다.

Table 7. PM-10, PM-2.5 Concentrations in under. parking lot

층갈		PM-10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM-2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		B1	B2	B1	B2
H1	mor.	15.3	16.6	12.3	14.6
	night	17.0	30.3	14.0	25.0
	av.	19.8		16.4	
H2	mor.	20.6	19.0	15.3	16.1
	night	19.0	20.6	14.6	17.3
	av.	19.8		15.7	
H3	mor.	30.3	32.6	24.3	28.6
	night	44.0	51.0	37.0	40.6
	av.	39.4		32.6	
H4	mor.	36.3	20.3	28.3	18.0
	night	37.6	45.0	30.3	38.6
	av.	34.8		28.8	
H5	mor.	33.6	23.3	26.0	19.0
	night	44.6	49.6	38.3	43.0
	av.	37.8		31.6	
H6	mor.	46.0	48.6	37.3	37.0
	night	41.6	45.6	36.0	37.3
	av.	45.4		36.8	
H7	mor.	62.6	48.3	48.3	38.0
	night	63.6	45.6	51.0	38.6
	av.	41.5		43.9	
H8	mor.	39.6	40.3	31.3	33.0
	night	49.3	53.0	38.6	44.0
	av.	45.5		36.7	
H9	mor.	35.3	24.3	27.3	21.0
	night	54.0	45.6	43.0	36.3
	av.	39.8		31.9	
av.	mor.	35.5	30.2	27.9	24.9
	night	41.2	42.9	33.6	35.6
	av.	37.4		30.5	

9개 아파트의 지하1층 주차장 초미세먼지는 아침에는 $23\mu\text{g}/\text{m}^3$ (H1)~ $48.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ (H7)에 분포하며, 밤에는 $14.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ (H1)~ $51.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ (H7)에 분포한다. 9개 측정된 농도의 평균값은 아침에는 $27.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 밤에는 $33.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 아침과 밤의 평균한 값은 $30.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 9개 아파트의 지하 2층 주차장 초미세먼지는 아침에는 $14.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ (H1)~ $38.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ (H7)에 분포하며, 밤에는 $17.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ (H2)~ $44.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ (H8)에 분포한다. 이들 농도의 평균값은 아침에는 $24.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 밤에는 $35.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 아침과 밤의 평균한 값은 $30.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 지하주차장의 PM10이나 PM2.5 농도는 관련 국내 기준뿐만 아니라 외국 기준보다 낮게 나타나고 있다.

3.5. 오염물질 농도의 원인 분석

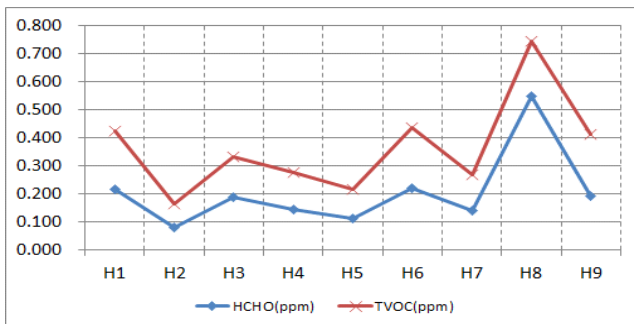


Fig. 6. HCHO-TVOC concentrations correlation in under. parking lot

각 아파트 지하주차장 별 HCHO, TVOC, 미세먼지, 초미세먼지 농도를 분석하면 다음과 같다. HCHO 농도와 TVOC 농도는 각 주차장의 오염물질 농도를 상대적으로 비교할 경우, H2가 가장 양호하며, H5는 양호한 편이며, H8, H6는 불량한 편이다. H7은 HCHO, TVOC는 양호한 편이나 미세먼지와 초미세먼지는 불량한 편이며, H1은 HCHO, TVOC는 불량한 편이나 미세먼지와 초미세먼지는 양호한 편이다. 나머지인 H3, H4, H9은 중간 정도의 농도를 나타내고 있다.

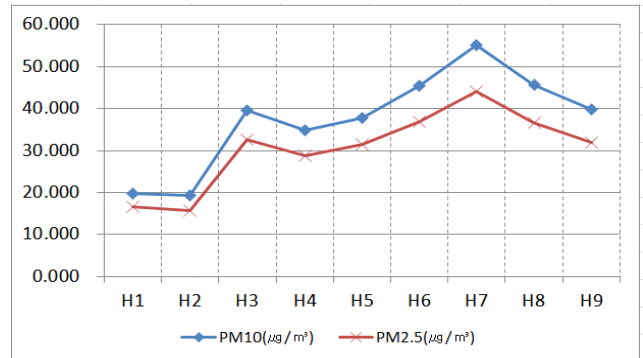


Fig. 7. PM10-PM2.5 concentrations correlation in under. parking lot

H2의 HCHO 농도(0.080ppm)는 전체 평균 농도(0.204ppm)의 39.2%이며, TVOC 농도(0.163ppm)는 전체 평균 농도(0.363ppm)의 44.9%이다. H5의 HCHO 농도(0.113ppm)는 전체 평균 농도의 55.3%이며, TVOC 농도(0.216ppm)는 전체 평균 농도의 59.5%이다. H8의 HCHO 농도(0.549ppm)는 전체 평균 농도의 269.1%이며, TVOC 농도(0.746ppm)는 전체 평균 농도의 205.5%이다. 9개 아파트 지하주차장의 HCHO 농도는 전체 평균 농도의 0.4~2.7배의 범위에서 나타나고 있으며, TVOC 농도는 전체 평균 농도의 0.6~2.0배의 범위에서 나타나고 있다. HCHO의 평균 농도는 TVOC의 평균 농도의 0.56배 작지만 각 아파트별 HCHO 농도 편차는 TVOC 농도 편차의 1.64배 더 넓게 나타나고 있다.

H2의 미세먼지 농도($19.8\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 전체 평균 농도($37.4\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 52.9%이며, 초미세먼지 농도($15.7\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 전체 평균 농도($30.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 51.4%이다. H5의 미세먼지 농도($37.8\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 전체 평균 농도의 101.0%이며, 초미세먼지 농도($31.6\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 전체 평균 농도의 103.6%이다. H8의 미세먼지 농도($45.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 전체 평균 농도의 121.61%이며, 초미세먼지 농도($36.7\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 전체 평균 농도의 120.3%이다. 9개 아파트 지하주차장의 미세먼지 농도는 전체 평균 농도의 0.53~1.21배의 범위에서 나타나고 있으며, 초미세먼지 농도는 전체 평균 농도의 0.51~1.43배의 범위에서 나타나고 있다. 미세먼지의 평균 농도는 초미세먼지의 평균 농도의 1.22배 크고 각 아파트별 미세먼지 농도 편차는 초미세먼지 농도 편차의 0.73배 좁게 나타나고 있다.

오염물질 농도가 적은 아파트 지하주차장과 농도가 많은 지하주차장의 농도 원인은 자연환기, 기계 환기, 주차 밀집도, 관리상태 등을 요인으로 다음과 같이 분석될 수 있다. 오염물질 농도가 가장 낮은 H2의 지하주차장은 지하 1,2층 주차장이 각각 바닥면적 $2,764.5\text{m}^2$ 에 122

대를 주차하고 있다. 기계 환기 시스템은 작동하지 않고 있으며, 지하 1층과 지하 2층 천정에 크게 보이드를 2곳에 뚫어 자연 환기가 유리하게 하였다. 지하 주차장의 온도와 습도는 외부와 큰 차이를 못 느끼게 한다. 오염물질 농도가 낮은 H5의 지하 1층 주차장은 바닥면적 1,560㎡에 37대, 지하 2층 주차장은 바닥면적 1,608㎡에 41대가 주차하고 있다. 기계 환기 시스템이 작동하고 있다.



Fig.8. H2 void, under. parking Fig.9. H5 driveway, under.parking

오염도가 가장 높은 H8 지하주차장은 환기용 보이드가 설치되어 있지 않고, 지하 2층 깊숙이 쓰레기 분리 수거장이 있으며, 기계 환기 장치는 작동되지 않고 있다. 또한, 지하 1층이 지하철역(인덕원역)과 통로로 직접 연결되어 있어 지하철역의 오염물질이 유입되고 있다. 주상복합아파트로 지하 3,4,5층 주차장은 아파트 전용이고 지하 1,2층 주차장은 상가 전용 주차장으로 차량 이용이 빈번하여 오염물질 발생이 많다. 관리



Fig.10. H8 waste place

Fig.11. H6 top-light

상태가 불량하다. H6의 지하주차장은 지하 1층과 지하 2층 바닥 면적이 각각 6,055㎡이며 605대가 주차하고 있다. 차량 진입로는 원형 램프로 되어 있고, 환기용 보이드가 설치되어 있으나 막다른 구석에 위치하여 환기에 불리하도록 되어 있다.

Table 8. Conditions of mechanical ventilation

	ordinary management	when measured
H1	summer 2 times(am 9., pm 6.) winter 1 time(am 9.), for 10 minutes	not operated
H2	operated by security when heavily polluted	not operated
H5	automatically operated by CO ₂ sensor	operated
H6	operated for 20 minutes by security when heavily polluted	not operated
H7	not operated because of electrical expense	not operated
H8	operated for 1~2 hours when wet	not operated

조사대상 아파트 중 6개 아파트 지하주차장의 기계식 환기 설비의 가동여부를 조사한 결과, 대부분 지하주차장(H2, H6, H8)은 기계식

환기를 오염이 심하다고 판단될 때에 경비가 가동하는 것으로 조사되었으며, 전기료 부담 때문에 아주 가동을 앓는 경우(H7)도 있었다. H5는 CO₂ 센서로 자동 가동하고 있었다. 본 연구를 위한 오염도 측정 시에는 6개 아파트에서 H5 아파트를 제외한 모든 아파트 지하주차장이 기계환기설비를 가동하지 않고 있었다. 이러한 각 아파트에서 기계 환기 설비의 가동 여부는 그림 6., 그림 7.의 각 아파트의 실내 오염도와 어느 정도 관련이 있는 것으로 분석된다.

4. 아파트 지하주차장 층별·주아별 오염물질 농도 특성 분석

4.1. 층별 HCHO, TVOC 농도 비교 분석

지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장에 따른 아침과 밤의 HCHO, TVOC 농도 평균을 비교분석하면 다음과 같다. 먼저 지하 2층 주차장이 지하 1층 주차장보다 HCHO 농도가 높은 아파트 수는 H2를 제외한 모든 아파트가 높다. 최대치는 13.6배까지 나타나며, H2도 0.93배로 나타난다. 지하 2층 주차장의 HCHO 농도는 지하 1층 지하주차장의 HCHO 농도보다 높다고 분석된다. 지하 1층 주차장의 HCHO 농도는 0.023ppm~0.185ppm에 분포하며 그 평균 0.091ppm이다. 지하 2층 주차장의 HCHO 농도는 0.077 ppm~1.022ppm에 분포하며 그 평균 0.317ppm이다. 지하 2층 주차장의 HCHO 농도는 지하 1층 주차장 농도보다 5.83배 더 넓게 분포하고 있으며, 지하 2층 주차장의 HCHO 평균 농도는 지하 1층 주차장의 HCHO 평균 농도의 3.48배 높은 것으로 분석된다.

Table 9. Ratio B2/B1 of HCHO, TVOC concentrations

층별	HCHO(ppm)			TVOC(ppm)		
	B1	B2	B2/B1	B1	B2	B2/B1
H1	0.115	0.316	2.74	0.283	0.565	1.99
H2	0.082	0.077	0.93	0.162	0.163	1.00
H3	0.185	0.190	1.02	0.362	0.302	0.83
H4	0.101	0.187	1.85	0.130	0.420	3.23
H5	0.023	0.202	8.98	0.055	0.376	6.83
H6	0.098	0.340	3.46	0.232	0.640	2.75
H7	0.040	0.239	5.97	0.088	0.450	5.11
H8	0.075	1.022	13.60	0.145	1.346	9.28
H9	0.103	0.279	2.70	0.208	0.612	2.94
av.	0.091	0.317	3.48	0.185	0.541	2.92

먼저 조사 대상 9개 아파트 중에서 H3를 제외한 모든 아파트 지하 2층 주차장의 TVOC 농도가 지하 1층 주차장 TVOC 농도보다 높게 나타난다. 최대치는 9.28배까지 나타나며, H3도 0.83배로 나타난다. 지하 2층 주차장의 TVOC 농도는 지하 1층 지하주차장의 TVOC 농도보다 높다고 분석된다. 지하 1층 주차장의 TVOC 농도는 0.055μg/㎡~0.362μg/㎡에 분포하며 그 평균 0.185μg/㎡이다. 지하 2층 주차장의 TVOC 농도는 0.163μg/㎡~1.346μg/㎡에 분포하며 그 평균 0.541μg/㎡이다. 지하 2층 주차장의 TVOC 농도는 지하 1층 주차장 농도보다 4.31배 더 넓게 분포하고 있으며, 지하 2층 주차장의 TVOC 평균 농도는 지하 1층 주차장의 TVOC 평균 농도의 2.92배 높은 것으로 분석된다.

4.2. 주야별 HCHO·TVOC 농도 비교 분석

아침과 밤에 측정된 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장의 HCHO, TVOC 농도 평균을 비교분석하면 다음과 같다. 먼저 밤의 지하 주차장이 아침의 지하 주차장보다 HCHO 농도가 높은 아파트 수는 5개이며, 낮은 아파트 수는 4개로 서로 비슷하다. 그 범위는 9.84~0.27배에서 나타나고 있다. 밤의 지하 주차장 HCHO 농도는 아침의 지하 주차장 HCHO 농도와 비슷한 빈도를 나타내고 있다.

Table 10. Ratio night/morning of HCHO, TVOC concentrations

층별	HCHO(ppm)			TVOC(ppm)		
	mor.	night	n/m	mor.	night	n/m
H1	0.132	0.299	2.26	0.3	0.548	1.82
H2	0.125	0.034	0.27	0.246	0.078	0.31
H3	0.206	0.169	0.82	0.324	0.341	1.05
H4	0.134	0.154	1.14	0.309	0.24	0.77
H5	0.046	0.179	3.89	0.076	0.354	4.65
H6	0.248	0.189	0.76	0.484	0.387	0.79
H7	0.172	0.107	0.62	0.329	209	0.63
H8	0.152	1.496	9.84	0.312	1.179	3.77
H9	0.08	0.302	3.79	0.171	0.643	3.76
av.	0.144	0.264	1.83	0.284	0.442	1.55

아침에 측정된 지하주차장 HCHO 농도는 0.046ppm~0.248ppm에 분포하며 그 평균 0.144ppm이다. 밤에 측정된 지하주차장 HCHO 농도는 0.034ppm~1.496ppm에 분포하며 그 평균 0.264ppm이다. 밤에 측정된 지하 주차장 HCHO 농도는 아침에 측정된 농도보다 7.23배 더 넓게 분포하고 있으며, 밤 지하 주차장 HCHO 평균 농도는 아침 지하 주차장 HCHO 평균 농도의 1.83배 높은 것으로 분석된다. 먼저 밤의 지하 주차장이 아침의 지하 주차장보다 TVOC 농도가 높은 아파트 수는 5개이며, 낮은 아파트 수는 4개로 서로 비슷하다. 그 범위는 4.65배~0.31배에서 나타나고 있다. 밤의 지하 주차장 TVOC 농도는 아침의 지하 주차장 TVOC 농도와 비슷한 빈도를 나타내고 있다. 아침에 측정된 지하주차장 TVOC 농도는 0.076ppm~0.484ppm에 분포하며 그 평균 0.284ppm이다. 밤에 측정된 지하주차장 TVOC 농도는 0.078ppm~1.179ppm에 분포하며 그 평균 0.442ppm이다. 밤에 측정된 지하 주차장 TVOC 농도는 아침에 측정된 농도보다 2.69배 더 넓게 분포하고 있으며, 밤의 지하 주차장 TVOC 평균 농도는 아침 지하 주차장의 TVOC 평균 농도의 1.55배 높은 것으로 분석된다.

4.3. 층별 PM10·PM2.5 농도 비교 분석

지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장에 따른 아침과 밤의 미세먼지, 초미세먼지 농도 평균을 비교분석하면 다음과 같다. 먼저 지하 2층 주차장이 지하 1층 주차장보다 미세먼지 농도가 높은 아파트 수는 7개이며, 낮은 아파트 수는 2개이다. 그 농도 범위는 1.48~0.92배에서 나타나고 있다. 빈도수로 볼 때에 지하 2층 주차장이 지하 1층 주차장보다는 미세먼지 농도가 높다고 분석된다. 지하 1층 주차장의 미세먼지 농도는 16.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~63.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 분포하며 그 평균 38.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 지하 2층 주차장의 미세먼지 농도는 19.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~

47.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 분포하며 그 평균 36.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 지하 2층 주차장의 미세먼지는 지하 1층 주차장 농도보다 0.59배 더 작게 분포하고 있으며, 지하 2층 주차장의 미세먼지 평균 농도는 지하 1층 주차장의 미세먼지 평균 농도의 0.95배인 것으로 분석된다.

Table 11. Ratio B2/B1 of PM10, PM2.5 concentrations

	PM-10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			PM-2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	B1	B2	B2/B1	B1	B2	B2/B1
H1	16.1	23.5	1.45	13.1	19.8	1.51
H2	19.8	19.0	0.95	15.3	16.1	1.05
H3	37.1	41.8	1.12	30.6	34.6	1.13
H4	37.0	32.6	0.88	29.3	28.3	0.96
H5	39.1	36.5	0.93	32.1	31.0	0.96
H6	43.8	47.1	1.07	36.6	37.1	1.01
H7	63.1	47.0	0.74	49.6	38.3	0.77
H8	44.5	46.6	1.04	35.0	38.5	1.10
H9	44.6	35.0	0.78	35.1	28.7	0.81
av.	38.3	36.5	0.95	30.7	30.3	0.98

먼저 지하 2층 주차장이 지하 1층 주차장보다 초미세먼지 농도가 높은 아파트 수는 4개이며, 낮은 아파트 수는 4개이다. 그 농도 범위는 1.51배~0.77배에서 나타나고 있다. 빈도수로 볼 때에 지하 2층 주차장 초미세먼지 농도는 지하 1층 주차장과 유사하다 할 수 있다. 지하 1층 주차장의 초미세먼지 농도는 13.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~49.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 분포하며 그 평균 30.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 지하 2층 주차장의 초미세먼지 농도는 16.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~38.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 분포하며 그 평균 30.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 지하 2층 주차장의 초미세먼지는 지하 1층 주차장 농도보다 0.60배 더 작게 분포하고 있으며, 지하 2층 주차장의 미세먼지 평균 농도는 지하 1층 주차장의 초미세먼지 평균 농도의 0.98배인 것으로 분석된다.

4.4. 주야별 PM10·PM2.5 농도 비교 분석

Table12. Ratio night/morning of PM10, PM2.5 concentrations

	PM-10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			PM-2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	mor.	night	n/m	mor.	night	n/m
H1	15.9	23.6	1.48	13.4	19.5	1.45
H2	19.8	19.8	1.00	15.7	15.9	1.01
H3	31.4	45.5	1.44	26.4	38.8	1.46
H4	28.3	41.3	1.45	23.1	34.4	1.48
H5	28.4	47.1	1.65	22.5	40.6	1.80
H6	47.3	43.6	0.92	37.1	36.6	0.98
H7	55.4	54.6	0.98	43.1	44.8	1.03
H8	39.9	51.1	1.28	32.1	41.3	1.28
H9	29.8	49.8	1.67	24.1	39.6	1.64
av.	32.8	42.0	1.28	26.4	34.6	1.31

아침과 밤에 측정된 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장의 미세먼지, 초미세먼지 농도 평균을 비교분석하면 다음과 같다. 먼저 밤의 지하 주차장이 아침의 지하 주차장보다 미세먼지 농도가 높은 아파트 수는 7개이며, 낮은 아파트 수는 2개이다. 그 농도 범위는 1.67배~0.92배에서 나타나고 있다. 빈도수로 볼 때에 밤의 지하 주차장이 아침의 지하 주차장보다는 미세먼지 농도가 높다고 분석된다. 아침에 측정된 지하주차장 미세먼지 농도는 15.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~55.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 분포하며 그 평균 32.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 밤에 측정된 지하주차장 미세먼지 농도는 19.8

$\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 54.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 분포하며 그 평균 $42.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 밤에 측정된 지하 주차장 미세먼지 농도는 아침에 측정된 농도보다 0.88배 더 좁게 분포하고 있으며, 밤의 지하 주차장 미세먼지 평균 농도는 아침 지하 주차장의 미세먼지 평균 농도의 1.28배 높은 것으로 분석된다.

먼저 밤의 지하 주차장이 아침의 지하 주차장보다 초미세먼지 농도가 높은 아파트 수는 9개이며, 낮은 아파트 수는 1개이다. 그 농도 범위는 1.80배~0.98배에서 나타나고 있다. 빈도수로 볼 때에 밤의 지하 주차장이 아침의 지하 주차장보다는 초미세먼지 농도가 높다고 분석된다. 아침에 측정된 지하주차장 초미세먼지 농도는 $13.4\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 43.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 분포하며 그 평균 $26.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 밤에 측정된 지하 주차장 초미세먼지 농도는 $15.9\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 44.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 분포하며 그 평균 $34.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 밤에 측정된 지하 주차장 초미세먼지 농도는 아침에 측정된 농도보다 0.97배 더 좁게 분포하고 있으며, 밤의 지하 주차장 초미세먼지 평균 농도는 아침 지하 주차장의 초미세먼지 평균 농도의 1.31배 높은 것으로 분석된다.

5. 결론

아파트 지하주차장의 대표적인 오염물질인 HCHO, TVOC, PM10, PM2.5 실태를 조사하기 위하여 9개 아파트 단지를 대상으로 지하 1층 주차장과 지하 2층 주차장을 아침과 밤에 각각 총 146회 실측하고 분석하였다. 지하 1층 주차장의 아침 HCHO 평균 농도는 0.089ppm, 밤 HCHO 평균 농도는 0.094ppm이었으며, 지하 2층 주차장의 아침 HCHO 평균 농도는 0.200ppm, 밤 HCHO 평균 농도는 0.434ppm이었다. 지하 1층 주차장의 아침과 밤의 HCHO 농도는 다중이용시설의 실내주차장의 유지기준인 0.0746ppm을 초과하고 있으며, 지하 2층 주차장의 아침과 밤의 HCHO 농도는 그 유지기준(0.129ppm)을 초과한다. 지하 1층 주차장의 아침 TVOC 평균 농도는 0.190ppm, 밤 TVOC 평균 농도는 0.180ppm이었으며, 지하 2층 주차장의 아침 TVOC 평균 농도는 0.378ppm, 밤 TVOC 평균 농도는 0.705ppm이었다. HCHO 전체 평균 농도는 0.204ppm, TVOC 전체 평균 농도는 0.363ppm이었다. 지하 1층 주차장의 아침과 밤의 TVOC 농도는 다중이용시설의 실내주차장의 권고기준인 0.215ppm보다 낮게 나타나고 있으며, 지하 2층 주차장의 아침과 밤의 TVOC 농도는 그 권고기준을 초과한다.

지하 1층 주차장의 아침의 PM10 평균 농도는 $35.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 밤의 PM10 평균 농도는 $41.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 지하 2층 주차장의 아침 PM10 평균 농도는 $30.2\mu\text{g}/\text{m}^3$, 밤 PM10 평균 농도는 $42.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 지하 1층 주차장의 아침의 PM2.5 평균 농도는 $27.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 밤의 PM2.5 평균 농도는 $33.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 지하 2층 주차장의 아침 PM2.5 평균 농도는 $24.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 밤 PM2.5 평균 농도는 $35.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. PM10 전체 평균 농도는 $37.4\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 전체 평균 농도는 $30.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

HCHO 지하 1층 주차장 농도는 다중이용시설 실내주차장의 유지기준인 0.0746ppm을 초과하고 있으며, 지하 2층 주차장의 농도는 그 유지기준의 2~5배를 초과하고 있다. TVOC 지하 1층 주차장 농도는 다중이용시설 실내주차장의 유지기준인 0.215ppm보다 적게 나타나고 있으며, 지하 2층 주차장의 농도는 그 유지기준의 1.5~3배를 초과

하고 있다. 지하주차장의 PM10이나 PM2.5 농도는 관련 국내 기준뿐만 아니라 외국 기준보다 낮게 나타나고 있다.

지하 주차장의 층별, 시간별 오염물질 농도 특성을 분석하면 다음과 같다. 지하 2층 주차장의 HCHO 평균 농도는 지하 1층 주차장의 HCHO 평균 농도의 3.48배 높은 것으로 분석되며, 지하 2층 주차장의 TVOC 평균 농도는 지하 1층 주차장의 TVOC 평균 농도의 2.92배 높은 것으로 분석된다. 지하 2층 주차장의 PM10 평균 농도는 지하 1층 주차장의 PM10 평균 농도의 0.95배인 것으로 분석되며, 지하 2층 주차장의 PM2.5 평균 농도는 지하 1층 주차장의 PM2.5 평균 농도의 0.98배인 것으로 분석된다. 밤의 지하 주차장 HCHO 평균 농도는 아침 지하 주차장의 HCHO 평균 농도의 1.83배 높은 것으로 분석되며, 밤의 지하 주차장 TVOC 평균 농도는 아침 지하 주차장의 TVOC 평균 농도의 1.55배 높은 것으로 분석된다. 밤의 지하 주차장 PM10 평균 농도는 아침 지하 주차장의 PM10 평균 농도의 1.28배 높은 것으로 분석되며, 밤의 지하 주차장 PM2.5 평균 농도는 아침 지하 주차장의 PM2.5 평균 농도의 1.31배 높은 것으로 분석된다.

향후 연구 과제는 본 연구에서 얻어진 지하주차장의 공기 오염물질 특성에 따른 건축적, 설비적, 운영적 대책을 연구하는 것이 필요하다. 조사 대상 지하주차장들은 비용문제 때문에 기계환기설비가 설치되어 있음에도 가동되지 않은 경우가 많았다. 앞으로 기계 설비적 대책도 중요하지만 지속가능한 환기 시스템을 위해서는 패시브 디자인에 대한 연구가 요구된다.

Acknowledgements

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] 남기철, 이영한, 기존 주택의 하절기 실내 공기질 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.)
- [2] 남기철, 이영한, 최봉석, 주택 실내 공기중 오염물질 농도의 하절기와 동절기 비교분석, 한국생태환경건축학회 논문집, 제 17권 제 3호, 2017.6., // (Nam, Ki-Cheul · Lee, Young-Han · Choi, Bong-Seok, A Comparative Analysis on Concentration of Pollutants in Housing Indoor-Air between Summer and Winter, KIEAE Journal, Vol.17 No. 3, 2017.6.)
- [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)